

PCT/JP 2004 610716

09.8.2004

JP04 10716

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 30 SEP 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2003年 7月28日

出願番号 Application Number: 特願2003-281010

[ST. 10/C]: [JP 2003-281010]

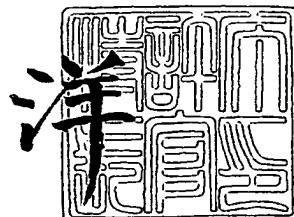
出願人 Applicant(s): 日本電信電話株式会社

**PRIORITY
DOCUMENT**

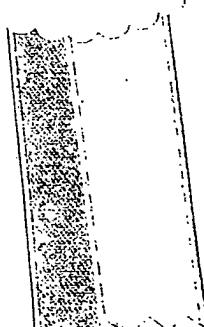
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2004年 9月16日

小川



特許長官
Commissioner,
Japan Patent Office



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTTH155638
【提出日】 平成15年 7月28日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 29/08
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 佐々木 愛一郎
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 品川 満
【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】 100083806
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 秀和
【電話番号】 03-3504-3075
【選任した代理人】
【識別番号】 100068342
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 保男
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 001982
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701396

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

測定対象の電界が印加される電気光学結晶に円偏光を照射することにより、印加された電界の電界強度を測定する電界センサであって、

前記円偏光の反射光をP偏光に変換し、該P偏光を除去する反射光除去手段を有することを特徴とする電界センサ。

【請求項 2】

前記反射光除去手段は、前記反射光をP偏光に変換する1/4波長板を有することを特徴とする請求項1に記載の電界センサ。

【請求項 3】

前記反射光除去手段は、前記P偏光に対して偏光分離を行う偏光分離手段を有することを特徴とする請求項1又は2に記載の電界センサ。

【請求項 4】

前記偏光分離手段は、偏光板、偏光ビームスプリッタ、グラントムソンプリズム及びウォラストンプリズムの内のいずれかを有することを特徴とする請求項3に記載の電界センサ。

【請求項 5】

測定対象の電界が印加される電気光学結晶に円偏光を照射することにより、印加された電界の電界強度を測定する電界センサであって、

前記円偏光の反射光をS偏光に変換し、該S偏光を除去する反射光除去手段を有することを特徴とする電界センサ。

【請求項 6】

前記反射光除去手段は、前記反射光をS偏光に変換する1/4波長板を有することを特徴とする請求項5に記載の電界センサ。

【請求項 7】

前記反射光除去手段は、前記S偏光に対して偏光分離を行う偏光分離手段を有することを特徴とする請求項5又は6に記載の電界センサ。

【請求項 8】

前記反射光分離手段は、前記S偏光の進行方向を変更し、前記偏光分離手段に入射させる入射手段を有することを特徴とする請求項7に記載の電界センサ。

【請求項 9】

前記偏光分離手段は、偏光板、偏光ビームスプリッタ、グラントムソンプリズム及びウォラストンプリズムの内のいずれかを有することを特徴とする請求項7又は8に記載の電界センサ。

【請求項 10】

前記入射手段は、プリズムを有することを特徴とする請求項8又は9に記載の電界センサ。

【書類名】明細書

【発明の名称】電界センサ

【技術分野】

【0001】

本発明は、測定対象の電界が印加される電気光学 (Electro Optic) 結晶 (以下、"EO結晶" とする) にレーザ光を照射し、これを検出することにより印加された電界の電界強度を測定する電界センサに関する。

【背景技術】

【0002】

電界強度を測定する電界センサの一例としては、EO結晶を用いたものが挙げられる (例えば、特許文献1参照)。

図11は、上記のような電界センサ101の構成の一例を示す図であり、102はレーザ光源、103はQWP (Quarter Wave Plate: 1/4波長板)、104はEO結晶、105はPBS (Polarizing Beam Splitter: 偏光ビームスプリッタ)、106a及び106bはPD (Photo Detector: 光検出器) である。なお、検知されるべき電界が存在する際に、これに起因してEO結晶104に電圧を印加する電極の記載は省略している。

【0003】

上記の101のような電界センサを用いて電界を測定するにあたっては、レーザ光源102からP偏光108が照射され、このP偏光108はQWP103により円偏光109に変換される。

【0004】

円偏光109は、EO結晶104により偏光変調され、偏光変調された光は、PBS105によりP偏光(成分)110とS偏光(成分)111とに分離され、P偏光110はPD106aにより受信され、電気信号に変換され、一方、S偏光111はPD106bにより受信され、電気信号に変換される。これらの電気信号は、図示しない差動増幅器等により差動増幅され、これに基づいて電界が測定される。

【0005】

なお、以降の説明においては、適宜、上記のEO結晶104、PBS105、PD106a及び106bを反射要素107と総称する。また、この反射要素107の詳細については後述する。

【特許文献1】特開2001-324525号公報 (第3頁から第4頁、第1図)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

図12は、上記の101のような電界センサにおける解決すべき課題について説明するための図である。

上述したように、電界センサ101においては、EO結晶104に円偏光が入射される。しかし、入射された光がEO結晶104を含む反射要素の各構成機器において反射され、それが反射戻り光112となり、これがQWP103によりS偏光113に変換され、この反射戻り光(S偏光)113がレーザ光源102に逆入射されると、電界センサ101の測定精度に影響を及ぼす場合がある。

【0007】

このような事情に鑑み、本発明は、反射戻り光がレーザ光源に入射することを防止可能な電界センサを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1に記載の本発明は、測定対象の電界が印加される電気光学結晶に円偏光を照射することにより、印加された電界の電界強度を測定する電界センサであって、円偏光の反射光をP偏光に変換し、P偏光を除去する反射光除去手段を有することを要旨とする。

【0009】

請求項2に記載の本発明は、請求項1に記載の発明において、請求項反射光除去手段は、反射光をP偏光に変換する1/4波長板を有することを要旨とする。

【0010】

請求項3に記載の本発明は、請求項1又は2に記載の発明において、反射光除去手段は、P偏光に対して偏光分離を行う偏光分離手段を有することを要旨とする。

【0011】

請求項4に記載の本発明は、請求項3に記載の発明において、偏光分離手段は、偏光板、偏光ビームスプリッタ、グラントムソンプリズム及びウォラストンプリズムの内のいずれかを有することを要旨とする。

【0012】

請求項5に記載の本発明は、測定対象の電界が印加される電気光学結晶に円偏光を照射することにより、印加された電界の電界強度を測定する電界センサであって、円偏光の反射光をS偏光に変換し、S偏光を除去する反射光除去手段を有することを要旨とする。

【0013】

請求項6に記載の本発明は、請求項5に記載の発明において、反射光除去手段は、反射光をS偏光に変換する1/4波長板を有することを要旨とする。

【0014】

請求項7に記載の本発明は、請求項5又は6に記載の発明において、反射光除去手段は、S偏光に対して偏光分離を行う偏光分離手段を有することを要旨とする。

【0015】

請求項8に記載の本発明は、請求項7に記載の発明において、反射光分離手段は、S偏光の進行方向を変更し、偏光分離手段に入射させる入射手段を有することを要旨とする。

【0016】

請求項9に記載の本発明は、請求項7又は8に記載の発明において、偏光分離手段は、偏光板、偏光ビームスプリッタ、グラントムソンプリズム及びウォラストンプリズムの内のいずれかを有することを要旨とする。

【0017】

請求項10に記載の本発明は、請求項8又は9に記載の発明において、入射手段は、プリズムを有することを要旨とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明は、円偏光状態にある反射光をP偏光又はS偏光に変換し、これを除去する。したがって、反射光がレーザ光源に入射することを防止可能な電界センサを提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、図面を用いつつ本発明の電界センサについての説明を行う。

なお、以下の実施例は、あくまでも本発明の説明のためのものであり、本発明の範囲を制限するものではない。したがって、当業者であれば、これらの各要素又は全要素を含んだ各種の実施例を採用することが可能であるが、これらの実施例も本発明の範囲に含まれる。

また、実施例を説明するための全図において、同一の要素には同一の符号を付与し、これに関する反復説明は適宜省略する。

【実施例1】

【0020】

図1は、本発明の実施例1に係る電界センサ1aの構成を示すプロック図である。

電界センサ1aは、レーザ光源2、QWP (Quarter Wave Plate: 1/4波長板) 3、EO結晶4、PBS (Polarizing Beam Splitter: 偏光ビームスプリッタ) 5、PD (Photo Detector: 光検出器) 6a、PD 6b、レーザ光源2とQWP 3との間に設けられた第2のPBS 14を有する。

なお、上記のQWP3及びPBS14は、請求項に記載の反射光除去手段に含まれる。

【0021】

また、検知されるべき電界が存在する際に、これに起因してEO結晶4に電圧を印加する電極の記載は省略している。

【0022】

なお、以降の説明においては、適宜、上記のEO結晶4、PBS5、PD6a及び6bを反射要素7と総称する。

【0023】

電界センサ1aにより電界を測定するにあたっては、レーザ光源2からP偏光8が照射され、このP偏光8はQWP3により円偏光9に変換される。

【0024】

円偏光9は、EO結晶4により偏光変調され、PBS5によりP偏光（成分）10とS偏光（成分）11とに分離され、P偏光10はPD6aにより受信され、電気信号に変換され、一方、S偏光11はPD6bにより受信され、電気信号に変換される。これらの電気信号は、図示しない差動増幅器等により差動増幅され、これに基づいて電界が測定される。

【0025】

図2は、図1の電界センサ1aの基本原理を説明するための図である。なお、本図においては、反射要素7を鏡に見立てている。

反射要素7において発生した反射戻り光（円偏光）13は、QWP3によりS偏光12に変換され、PBS14により偏光分離される。

【0026】

上記のように、反射戻り光（S偏光）12をPBS14により偏光分離することにより、この反射戻り光12がレーザ光源2に入射することを防止できる。

【0027】

なお、本実施例においては、電界センサ1aが、反射戻り光（S偏光）を偏光分離する手段（偏光分離手段）としてPBS14を備える場合を示したが、これに限定されず、グラントムソングリズムやウォラストンプリズムといった2つの独立な直線偏光を空間的に分離する素子や、偏光板のように特定の直線偏光のみが透過する素子を有する構成とすることもできる。

【実施例2】

【0028】

図3は、本発明の実施例2に係る電界センサ1bの構成を示すブロック図である。

電界センサ1bは、レーザ光源2、QWP3、EO結晶4、PBS5、PD6a、PD6b、第2のPBS14を有する。

【0029】

この電界センサ1bと図1の電界センサ1aとの差異は、レーザ光源2の位置を変更した点にある。

なお、上記のQWP3及びPBS14は、請求項に記載の反射光除去手段に含まれる。

【0030】

電界センサ1bにより電界を測定するにあたっては、レーザ光源2からS偏光15が照射され、このS偏光15は、PBS14によりQWP3に入射され、このQWP3により円偏光9に変換される。

【0031】

円偏光9は、EO結晶4により偏光変調され、PBS5によりP偏光（成分）10とS偏光（成分）11とに分離され、P偏光10はPD6aにより受信され、電気信号に変換され、一方、S偏光11はPD6bにより受信され、電気信号に変換される。これらの電気信号は、図示しない差動増幅器等により差動増幅され、これに基づいて電界が測定される。

【0032】

なお、以降の説明においては、適宜、上記のEO結晶4、PBS5、PD6a及び6bを反射要素7と総称する。

【0033】

図4は、図3の電界センサ1bの基本原理を説明するための図である。なお、本図においては、反射要素7を鏡に見立てている。

反射要素7において発生した反射戻り光（円偏光）17は、QWP3によりP偏光16に変換され、PBS14により偏光分離される。

【0034】

上記のように、レーザ光源から発せられるレーザ光は15のようなS偏光でもよく、反射戻り光（P偏光）16をPBS14により偏光分離することにより、この反射戻り光16がレーザ光源2に入射することを防止できる。

【0035】

なお、本実施例においては、電界センサ1bが、反射戻り光（P偏光）を偏光分離する手段（偏光分離手段）としてPBS14を備える場合を示したが、これに限定されず、グラントムソンプリズムやウォラストンプリズムといった2つの独立な直線偏光を空間的に分離する素子を有する構成とすることもできる。

【実施例3】

【0036】

図5は、本発明の実施例3に係る電界センサ1cの構成を示すブロック図である。

電界センサ1cは、レーザ光源2、QWP3、EO結晶4、PBS5、PD6a、PD6b、第2のPBS14、HWP（Half Wave Plate：1/2波長板）18を有する。

【0037】

この電界センサ1cと図3の電界センサ1bとの差異は、レーザ光源2とPBS14との間にHWP18を設けた点にある。

なお、上記のQWP3及びPBS14は、請求項に記載の反射光除去手段に含まれる。

【0038】

電界センサ1cにより電界を測定するにあたっては、レーザ光源2からP偏光8が照射され、このP偏光8は、HWP18によりS偏光15に変換され、PBS14によりQWP3に入射され、このQWP3により円偏光9に変換される。

【0039】

円偏光9は、EO結晶4により偏光変調され、PBS5によりP偏光（成分）10とS偏光（成分）11とに分離され、P偏光10はPD6aにより受信され、電気信号に変換され、一方、S偏光11はPD6bにより受信され、電気信号に変換される。これらの電気信号は、図示しない差動増幅器等により差動増幅され、これに基づいて電界が測定される。

【0040】

なお、以降の説明においては、適宜、上記のEO結晶4、PBS5、PD6a及び6bを反射要素7と総称する。

【0041】

図6は、図5の電界センサ1cの基本原理を説明するための図である。なお、本図においては、反射要素7を鏡に見立てている。

反射要素7において発生した反射戻り光（円偏光）17は、QWP3によりP偏光16に変換され、PBS14により偏光分離される。

【0042】

上記のように、レーザ光源2から発せられたP偏光8をS偏光15に変換し、その後にEO結晶4に入射させてもよく、反射戻り光（P偏光）16をPBS14により偏光分離することにより、この反射戻り光16がレーザ光源2に入射することを防止できる。

【0043】

なお、本実施例においては、電界センサ1cが、反射戻り光（P偏光）を偏光分離する手段（偏光分離手段）としてPBS14を備える場合を示したが、これに限定されず、グ

ラントムソンプリズムやウォラストンプリズムといった2つの独立な直線偏光を空間的に分離する素子を有する構成とすることもできる。

【実施例4】

【0044】

図7は、本発明の実施例4に係る電界センサ1dの構成を示すブロック図である。

電界センサ1dは、レーザ光源2、QWP3、EO結晶4、PBS5、PD6a、PD6b、第2のPBS14、プリズム19を有する。

【0045】

この電界センサ1dは、図1の電界センサ1aにプリズム19を設けたものである。

なお、上記のQWP3及びPBS14は、請求項に記載の反射光除去手段に含まれ、上記のプリズム19は、請求項に記載の入射手段に含まれる。

【0046】

電界センサ1dにより電界を測定するにあたっては、レーザ光源2からP偏光8が照射され、このP偏光8はプリズム19において進行方向が変更されることによりQWP3に入射され、このQWP3により円偏光9に変換される。

【0047】

円偏光9は、EO結晶4により偏光変調され、PBS5によりP偏光(成分)10とS偏光(成分)11とに分離され、P偏光10はPD6aにより受信され、電気信号に変換され、一方、S偏光11はPD6bにより受信され、電気信号に変換される。これらの電気信号は、図示しない差動増幅器等により差動増幅され、これに基づいて電界が測定される。

【0048】

なお、以降の説明においては、適宜、上記のEO結晶4、PBS5、PD6a及び6bを反射要素7と総称する。

【0049】

図8は、図7の電界センサ1dの基本原理を説明するための図である。なお、本図においては、反射要素7を鏡に見立てている。

反射要素7において発生した反射戻り光(円偏光)17は、QWP3によりS偏光20に変換され、プリズム19により進行方向が変換されるとともにPBS14に入射され、このPBS14により偏光分離される。

【0050】

上記のように、P偏光8の進行方向を変更し、その後にQWP3に入射させ、反射戻り光(S偏光)20の進行方向を変更し、その後にPBS14に入射させる構成とすることにより、レーザ光源を配置するにあたっての自由度が拡大し、また、PBS14により反射戻り光20を偏光分離することにより、この反射戻り光20がレーザ光源2に入射することを防止できる。

【0051】

なお、本実施例においては、電界センサ1dが、反射戻り光(S偏光)を偏光分離する手段(偏光分離手段)としてPBS14を備える場合を示したが、これに限定されず、グラントムソンプリズムやウォラストンプリズムといった2つの独立な直線偏光を空間的に分離する素子や、偏光板のように特定の直線偏光のみが透過する素子を有する構成とすることもできる。

【実施例5】

【0052】

図9は、本発明の実施例5に係る電界センサ1eの構成を示すブロック図である。

電界センサ1eは、レーザ光源2、QWP3、EO結晶4、PBS5、PD6a、PD6b、第2のPBS14、プリズム19を有する。

【0053】

この電界センサ1eと図7の電界センサ1dとの差異は、プリズム19の位置を変更し、レーザ光源2に隣接配置した点にある。

なお、上記のQWP3及びPBS14は、請求項に記載の反射光除去手段に含まれる。

【0054】

電界センサ1eにより電界を測定するにあたっては、レーザ光源2からP偏光8が照射され、このP偏光8はプリズム19において進行方向が変更されることによりQWP3に入射され、このQWP3により円偏光9に変換される。

【0055】

円偏光9は、EO結晶4により偏光変調され、PBS5によりP偏光（成分）10とS偏光（成分）11とに分離され、P偏光10はPD6aにより受信され、電気信号に変換され、一方、S偏光11はPD6bにより受信され、電気信号に変換される。これらの電気信号は、図示しない差動増幅器等により差動増幅され、これに基づいて電界が測定される。

【0056】

なお、以降の説明においては、適宜、上記のEO結晶4、PBS5、PD6a及び6bを反射要素7と総称する。

【0057】

図10は、図9の電界センサ1eの基本原理を説明するための図である。なお、本図においては、反射要素7を鏡に見立てている。

反射要素7において発生した反射戻り光（円偏光）17は、QWP3によりS偏光20に変換されるとともにPBS14に入射され、このPBS14により偏光分離される。

【0058】

上記のように、P偏光8の進行方向を変更し、その後にQWP3に入射させる構成とすることにより、レーザ光源を配置するにあたっての自由度が拡大し、また、PBS14により反射戻り光20を偏光分離することにより、この反射戻り光20がレーザ光源2に入射することを防止できる。

【0059】

なお、本実施例においては、電界センサ1eが、反射戻り光（S偏光）を偏光分離する手段（偏光分離手段）としてPBS14を備える場合を示したが、これに限定されず、グラントムソンプリズムやウォラストンプリズムといった2つの独立な直線偏光を空間的に分離する素子や、偏光板のように特定の直線偏光のみが透過する素子を有する構成とすることもできる。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本発明の実施例1に係る電界センサの構成を示すブロック図である。

【図2】図1の電界センサの基本原理を説明するための図である。

【図3】本発明の実施例2に係る電界センサの構成を示すブロック図である。

【図4】図3の電界センサの基本原理を説明するための図である。

【図5】本発明の実施例3に係る電界センサの構成を示すブロック図である。

【図6】図5の電界センサの基本原理を説明するための図である。

【図7】本発明の実施例4に係る電界センサの構成を示すブロック図である。

【図8】図7の電界センサの基本原理を説明するための図である。

【図9】本発明の実施例5に係る電界センサの構成を示すブロック図である。

【図10】図9の電界センサの基本原理を説明するための図である。

【図11】従来の電界センサの構成を示すブロック図である。

【図12】図11の電界センサにおける課題を説明するための図である。

【符号の説明】

【0061】

1a、1b、1c、1d、1e 電界センサ

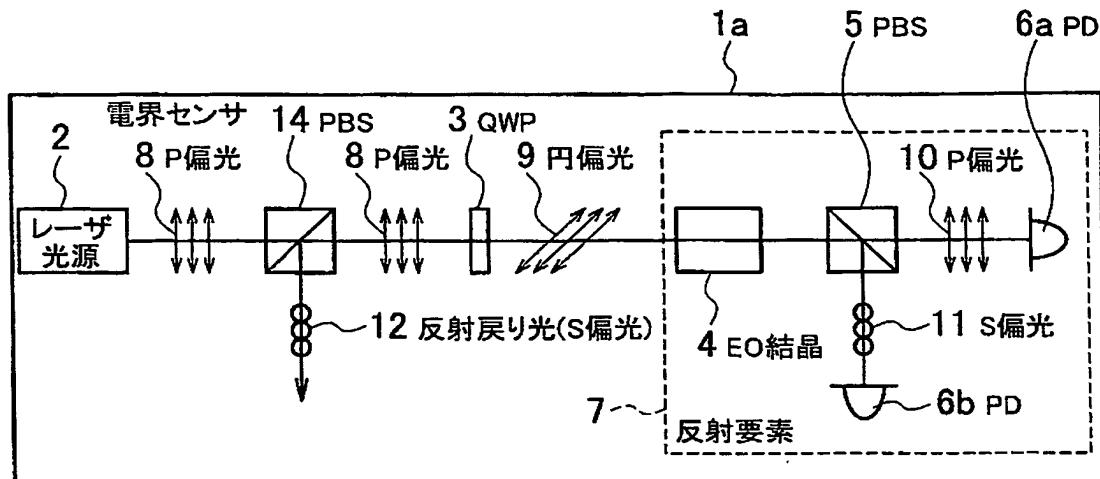
2 レーザ光源

3 QWP (Quarter Wave Plate: 1/4波長板)

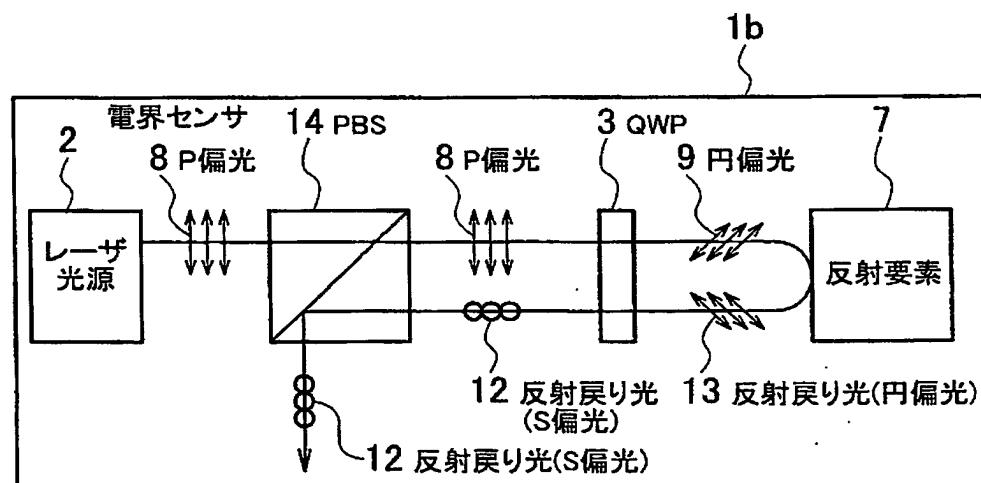
4 EO (Electro Optic: 電気光学) 結晶

5、14 P B S (Polarizing Beam Splitter: 偏光ビームスプリッタ)
6 a、6 b P D (Photo Detector: 光検出器)
7 a、7 b、7 c、7 d、7 e 反射要素
8、10 P 偏光
9、11 S 偏光
12、15、20 S 偏光 (反射戻り光)
13、17 円偏光 (反射戻り光)
16 P 偏光 (反射戻り光)
18 H W P (Half Wave Plate: 1/2 波長板)
19 プリズム

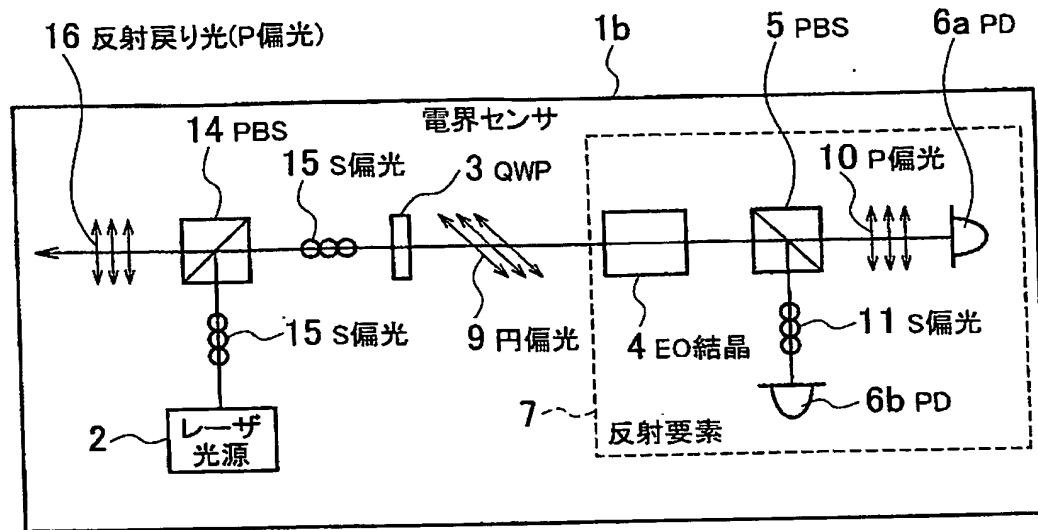
【書類名】 図面
【図 1】



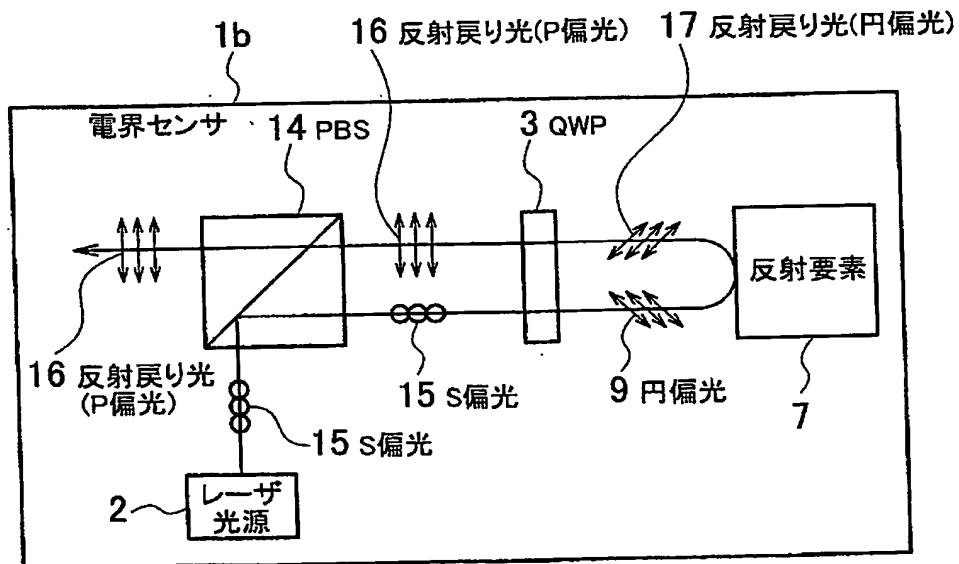
【図 2】



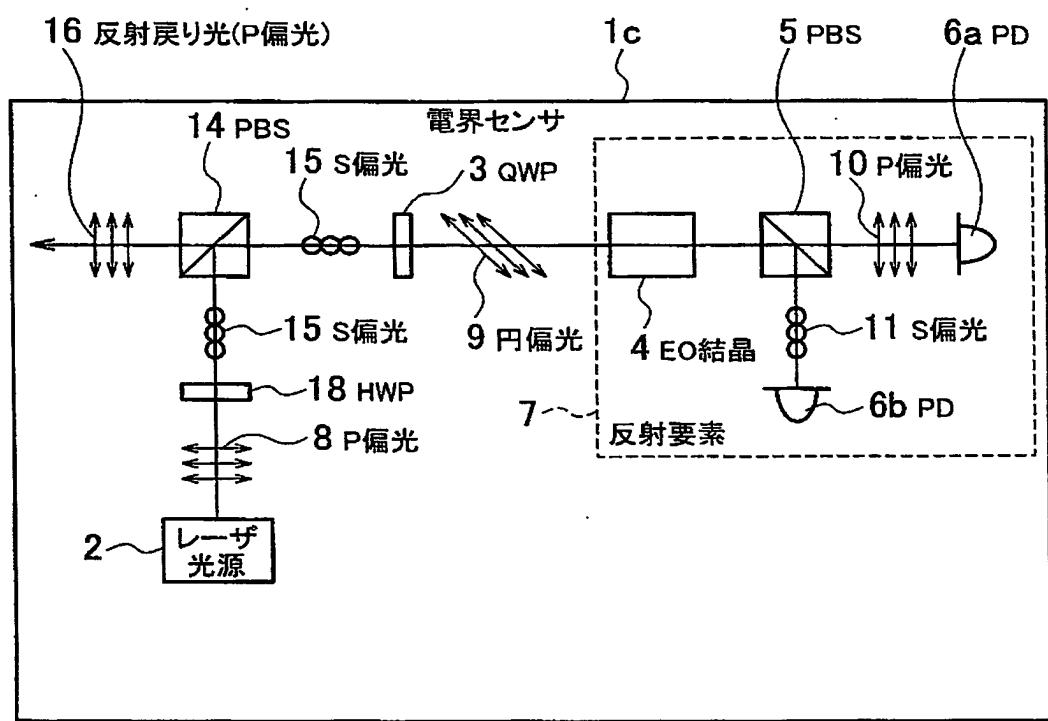
【図3】



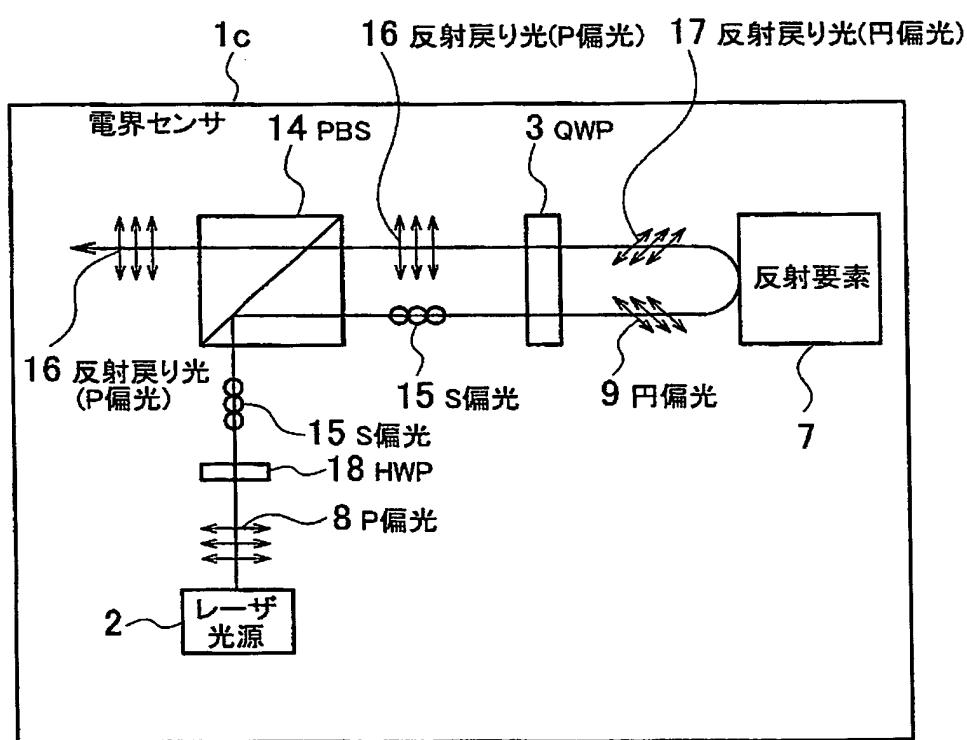
【図4】



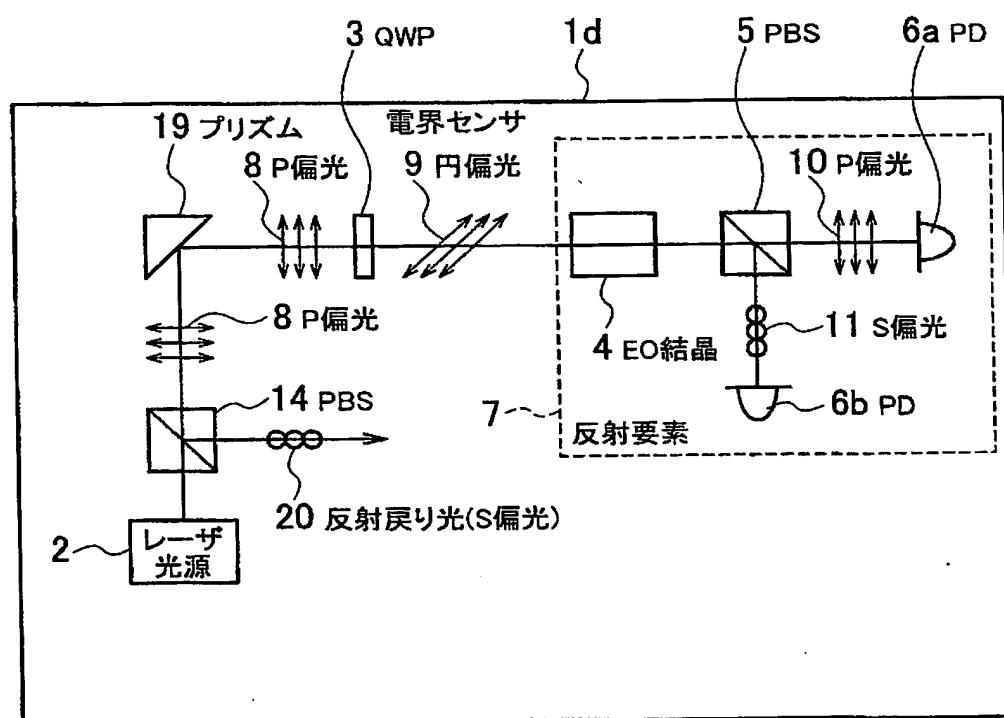
【図5】



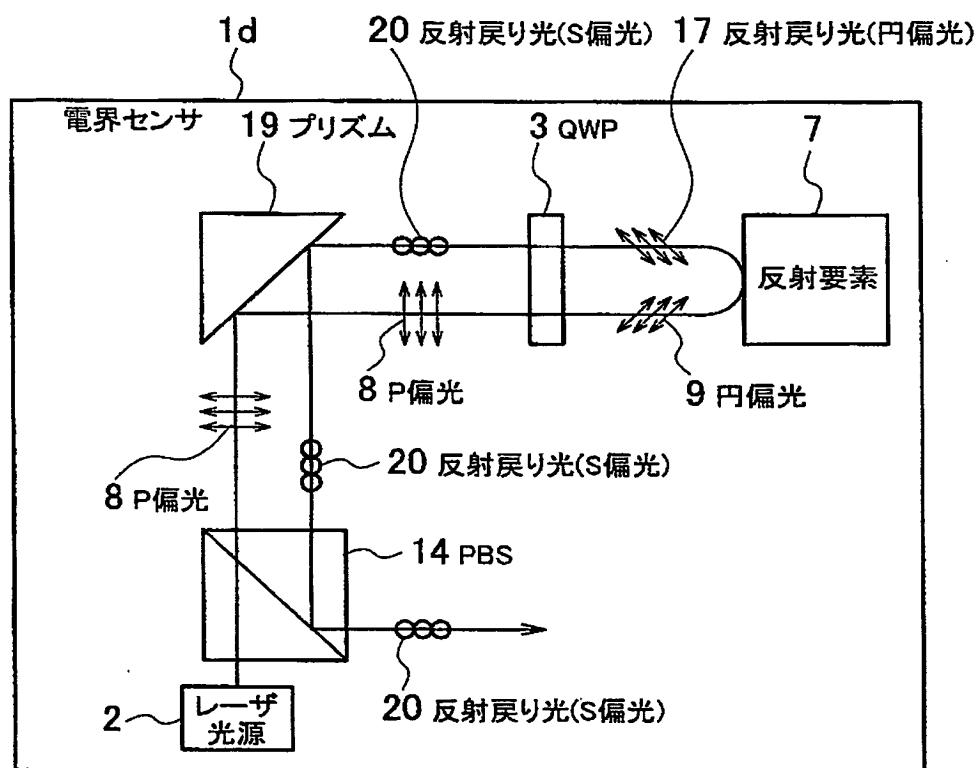
【図 6】



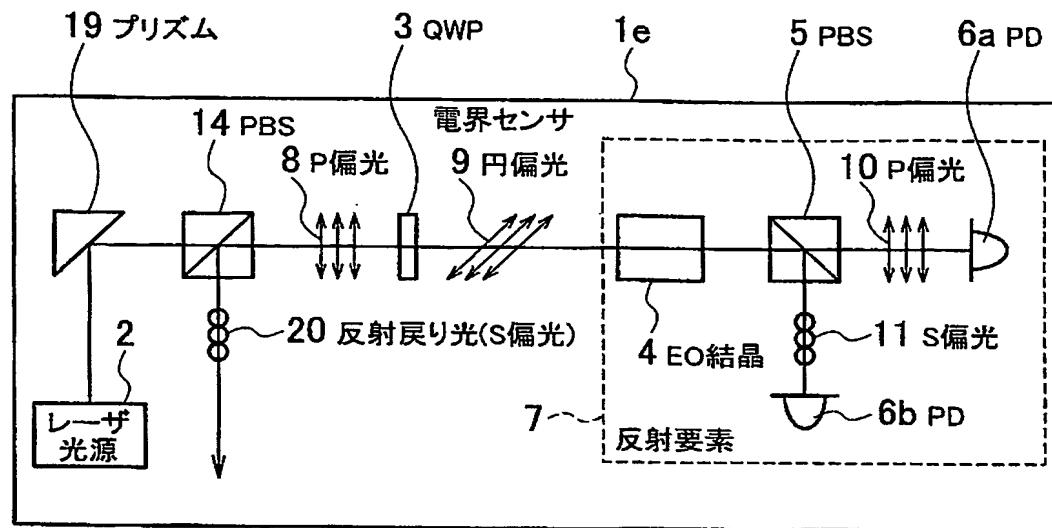
【図 7】



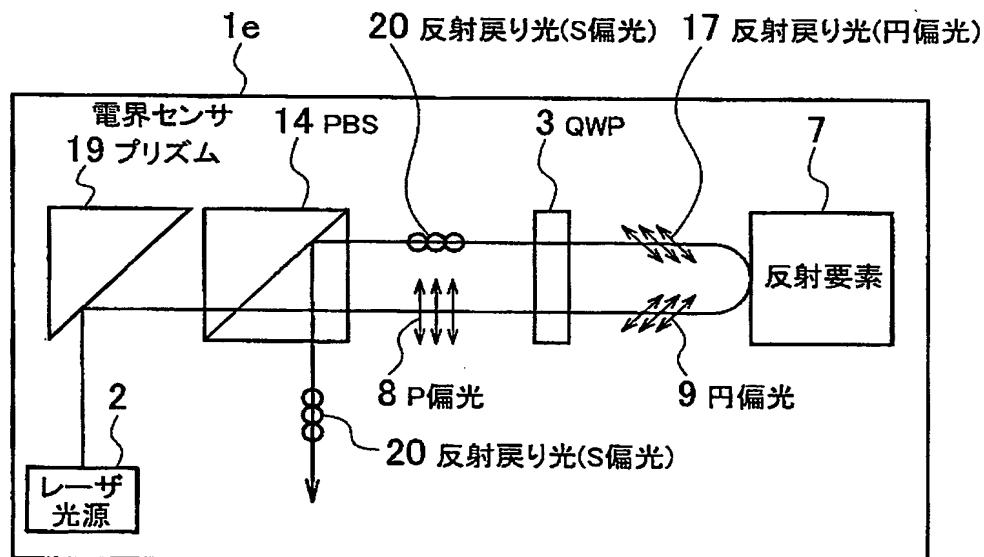
【図 8】



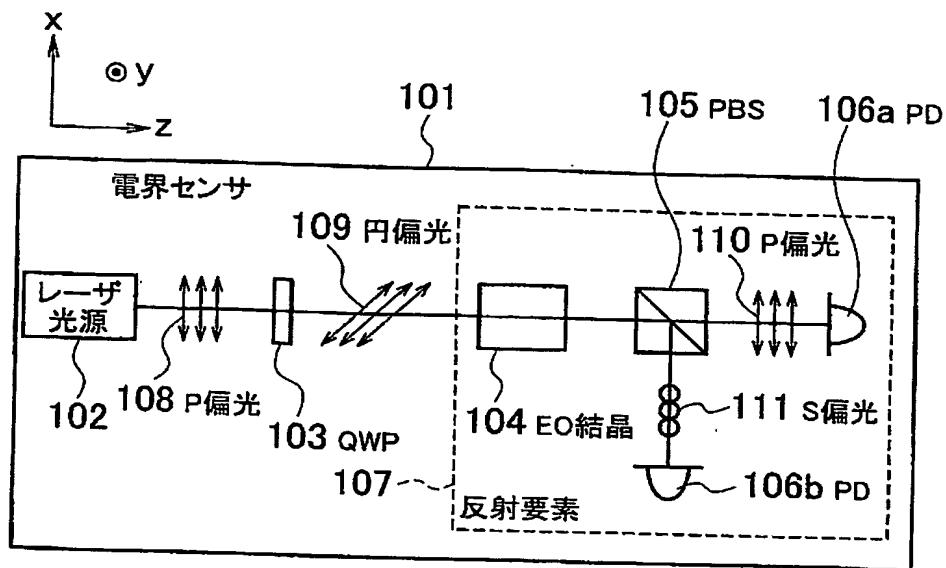
【図 9】



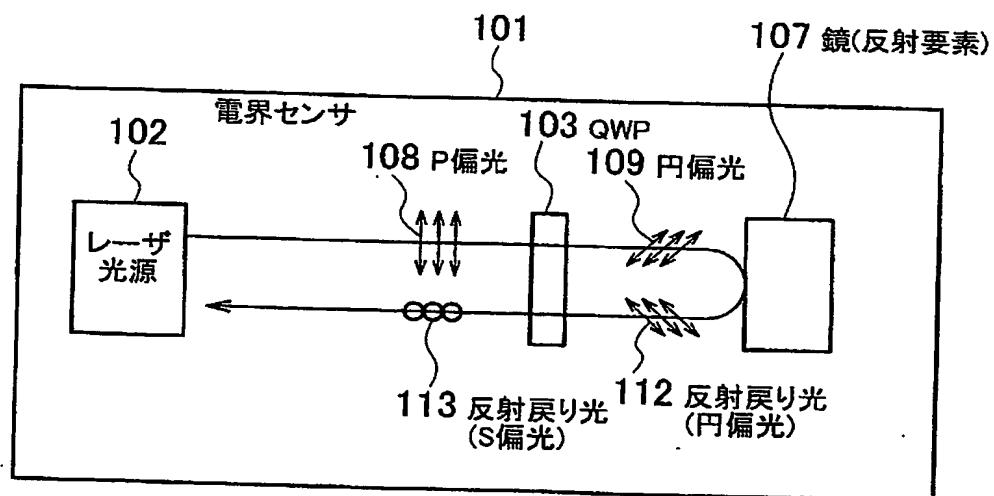
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】反射戻り光がレーザ光源に入射することを防止可能な電界センサを提供する。

【解決手段】反射戻り光（円偏光）13をS偏光12に変換する1/4波長板と、S偏光12に対して偏光分離を行うPBS（Polarizing Beam Splitter：偏光ビームスプリッタ）14とを設ける。

【選択図】図1

特願 2003-281010

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏名 日本電信電話株式会社

09.8.2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 30 SEP 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日 2003年11月10日
Date of Application:

出願番号 特願2003-380400
Application Number:

[ST. 10/C] : [JP2003-380400]

出願人 日本電信電話株式会社
Applicant(s):

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2004年 9月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

八月

洋

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTI156531
【提出日】 平成15年11月10日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 29/08
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 佐々木 愛一郎
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 柴田 信太郎
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 美濃谷 直志
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 品川 満
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100083806
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 三好 秀和
【選任した代理人】
 【識別番号】 100068342
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 三好 保男
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 001982
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9701396

【書類名】特許請求の範囲**【請求項 1】**

交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光を S 偏光成分と P 偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて、

前記交流信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成する制御信号生成手段と、

前記制御信号を前記電気光学結晶に与える制御信号付与手段と
を備えたことを特徴とする電界センサ。

【請求項 2】

前記制御信号付与手段は、前記電気光学結晶に設けられて前記制御信号が与えられる制御電極であることを特徴とする請求項 1 記載の電界センサ。

【請求項 3】

前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであることを特徴とする請求項 2 記載の電界センサ。

【請求項 4】

前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであり、前記制御信号付与手段は、前記信号電極に与えられる信号に対し前記制御信号を加算する加算器であることを特徴とする請求項 1 記載の電界センサ。

【書類名】明細書

【発明の名称】電界センサ

【技術分野】

【0001】

本発明は、交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光から交流信号を得る電界センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

電気光学(Electro-Optic:以下、EOという)効果を使った電界センサにおいては、交流の電界が印加されているEO結晶に光ビームを入射させ、EO結晶から出射された光を偏光ビームスプリッタ(Polarizing-Beam Splitter:以下、PBSという)によりS偏光とP偏光とに分離し、2つのPDによってそれぞれの偏光を独立に検出する。そして、各偏光の差を光検出器(Photodetector:以下、PDという)と差動アンプで検出する。

【0003】

PBSに入射する直前の光ビームの偏光状態としては、円偏光であることが望ましい。円偏光のときの主なメリットを以下に列挙する。

【0004】

(1) 光ビームの強度変調度が最大となり、高感度の検出に寄与する。PDからの信号の2倍の振幅を得ることができる。

【0005】

(2) 差動信号検出によって光ビームの強度雑音を低減できるので、高感度の検出に寄与する。

【0006】

(3) 差動信号検出によって信号の直流成分を相殺できるので、信号処理回路の負担軽減に寄与する。

【0007】

図8は、従来の電界センサの動作説明図である。

【0008】

光源1から出射した光ビーム3は位相補償板5とEO結晶7を透過後、PBS9に入射する。光ビーム3の偏光状態は、PBS9に入射する直前において円偏光になるように、位相補償板5によって調整されている。EO結晶7には、信号電極11及びグラウンド電極13を介して、交流の被測定信号15に応じた交流電界が印加される。光ビーム3は電界に応じてEO結晶7内にて偏光変調を受ける。偏光変調光はPBS9でSおよびP偏光成分に分離される。このとき、各偏光成分は強度変調光に変換されている。強度変調されたSおよびP偏光成分は互いに逆相に変化する。したがって、PD17及び19で受光し、差動アンプ21を用いて差動信号検出することによって、より高感度な出力信号22を得ることが可能となる。

【0009】

図9は、PBS9に入射する光ビームの偏光状態とそれに対応する電気信号の関係を示す図である。

【0010】

図9(a)に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、PBS9で分離されるSおよびP偏光成分の強度は一定である。

【0011】

図9(b)に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、PD17および19が出力する電気信号は、0.5V_{max} (V_{max}は全光量に対応するPDの出力電圧)を基準値として被測定信号(この場合は正弦波)に対応した信号となり、互いに逆相に変化する。ここで、それぞれの信号の最大振幅をAとおく。

【0012】

図9 (c) に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、差動アンプ21の出力信号の最大振幅は2Aとなり、直流成分は相殺される。またこの時には、PD17および19の出力信号22に含まれている光強度雑音も大幅に低減される。

【0013】

なお、以下の特許文献1には上記技術が開示されている。

【特許文献1】特開2003-98205号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、図9 (d) に示すように、PBS9に入射する光ビームが円偏光に保たれておらず楕円偏光になっているならば、PBS9で分離されるSおよびP偏光成分の強度にアンバランスが生じる。これは、主に温度変化によるものである。

【0015】

図9 (e) に示すように、PBS9に入射する光ビームが楕円偏光になっているならば、PD17および19の出力電気信号の直流成分にアンバランスが生じる($V_s \neq V_p$ かつ $V_s + V_p = V_{max}$)。また、図9 (b) の状態に比べて信号振幅 rA が小さくなる($rA, 0 \leq r < 1$)。

【0016】

図9 (f) に示すように、PBS9に入射する光ビームが楕円偏光になっているならば、差動アンプ21の出力電気信号には直流成分($V_p - V_s$)が残る。振幅は $2rA$ となり、図9 (c) の状態に比べて小さくなる。またこの時には、PD17および19の出力信号に含まれている光強度雑音を十分に低減することができない。

【0017】

なお、光ビームがPBS9に入射する直前の偏光状態を常に円偏光に保つことは、実際には温度などの外的要因により困難である。

【0018】

以上のように、電界センサにおいては光ビームが楕円偏光に変化してしまうので、以下のデメリットが生じる。

【0019】

(1) 光ビームの強度変調度が低下するのでセンサとしての感度が低下する。

【0020】

(2) SおよびP偏光成分の平均強度にアンバランスが生じ、差動信号検出によってレザ強度雑音を十分に低減することが不可能であり、センサとしての感度が低下する。

【0021】

(3) 差動信号検出によって信号の直流成分を十分に低減できず、電気回路に負担がかかる。

【0022】

そこで本発明は、上記の従来の課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光の偏光状態を円偏光に保ったままS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の差分に応じた交流信号を得る電界センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0023】

上記従来の課題を解決するために、請求項1の本発明は、交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて、前記交流信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成する制御信号生成手段と、前記制御信号を前記電気光学結晶に与える制御信号付与手段とを備えたことを特徴とする電界センサをもって解決手段とする。

【0024】

請求項1の電界センサによれば、交流信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成し、この制御信号を電気光学結晶に与えるので、電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【0025】

また、請求項2の本発明は、前記制御信号付与手段は、前記電気光学結晶に設けられて前記制御信号が与えられる制御電極であることを特徴とする請求項1記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0026】

請求項2の電界センサによれば、電気光学結晶に設けられた制御電極に制御信号を与えることで電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【0027】

また、請求項3の本発明は、前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであることを特徴とする請求項2記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0028】

請求項3の電界センサによれば、電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により交流電界が印加された電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【0029】

また、請求項4の本発明は、前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであり、前記制御信号付与手段は、前記信号電極に与えられる信号に対し前記制御信号を加算する加算器であることを特徴とする請求項1記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0030】

請求項4の電界センサによれば、信号電極に与えられる信号に対し制御信号を加算器により加算するので、電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【発明の効果】

【0031】

本発明によれば、交流信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を電気光学結晶に与えるので、温度変化によらず、出力信号の直流成分を十分に低減でき、そのため、光ビームの強度変調度及びセンサとしての感度を高めることができる。また、レーザ強度雑音を十分に低減できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。なお、図8に示した電界センサの部品と同一な部品には同一符号を付す。

【0033】

【第1の実施の形態】

図1は、第1の実施の形態における電界センサの構成図である。

【0034】

第1の実施の形態の電界センサでは、交流電界が印加されているEO結晶に光ビームを入射させ、EO結晶から出射された光をPBSによりS偏光とP偏光とに分離し、各偏光の差を差動アンプで検出する構成をとる。

【0035】

即ち、図1にあっては、光源1から出射した光ビーム3は位相補償板5とEO結晶7を透過後、PBS9に入射する。PBS9に入射する直前の光ビームの偏光状態は、所定の周囲温度において円偏光になるように、位相補償板5によって調整されている。EO結晶

7には、信号電極11及びグラウンド電極13を介して被測定信号15（例えば、数k Hzから数百MHzの交流）に応じた電界が印加される。光ビーム3は、電界に応じてEO結晶7内にて偏光変調される。偏光変調光はPBS9でSおよびP偏光成分に分離される。このとき、各偏光成分は強度変調光に変換されている。強度変調されたSおよびP偏光成分は互いに逆相に変化する。PD17及び19はSおよびP偏光成分を受光し、出力を差動アンプ21が差動信号検出することによって、出力信号22が得られる。

【0036】

さらに第1の実施の形態では、出力信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成し、EO結晶に設けられた制御電極に当該制御信号が与えられる。なお、制御信号は、出力信号22から生成するのではなく、差動アンプ21の入力信号から生成するようしている。

【0037】

図1に示すように、電界センサは、PD17に接続されたバッファアンプ23と、PD19に接続されたバッファアンプ24と、バッファアンプ23の出力に接続されたローパスフィルタ（以下、LPFという）25と、バッファアンプ24の出力に接続されたLPF27と、LPF25及び27からの出力の差分をとり、それを積分する積分器29を備える。また、EO結晶7には、制御信号付与手段たる制御電極33及び制御グラウンド電極35が設けられている。後者は接地され、前者には積分器29より出力された制御信号31が与えられる。なお、LPF25お及び27によって環境温度の変化に起因する極めて低い周波数成分（直流成分）の信号のみが積分器に入力される。したがって温度変化によるドリフトのみが低減される。一方、被測定信号15に起因する高周波成分の信号は、LPF25お及び27で遮断されるので、積分器29に入力されることはない。そして積分器29は、当該低周波成分のみからなる2つの信号の差分を積分し、制御信号31として出力する。差動アンプ21へは、PD17及びPD19から、低周波成分と高周波成分の両方を含んだ信号が与えられる。

【0038】

図2（a）は、積分器29（スイッチトキャパシタ積分器）の回路図であり、図2（b）は、積分器29を駆動するドライブ信号の波形図である。

【0039】

スイッチトキャパシタ積分器とした場合の積分器29は、連動する2つの開閉器からなりその一方の開閉器の一端がLPF25に接続され、他方の開閉器の一端がLPF27に接続されたスイッチ291と、このスイッチ291の一方の開閉器の他端と他方の開閉器の他端の間に接続されたコンデンサ292と、連動する2つの開閉器からなりその開閉器の一端と他方の開閉器の一端が前記コンデンサ292に接続されたスイッチ293と、差動アンプであって、スイッチ293の一方の開閉器の他端がマイナス入力端子に他方の開閉器の他端がプラス入力端子に接続され、このプラス入力端子が電圧Vbでバイアスされた差動アンプ295と、この差動アンプ295のマイナス入力端子と出力端子との間に接続されたコンデンサ294と、差動アンプ295の出力端子と制御電極33に接続されたバッファアンプ296とから構成されている。なお、（コンデンサ292の容量）<<（コンデンサ294の容量）である。また、差動アンプ295が正負電源タイプの場合は、そのプラス入力端子を接地して、すなわちバイアスをかけずに使用してもよい。

【0040】

スイッチ291に与えられるドライブ信号D1とスイッチ293に与えられるドライブ信号D2は、スイッチ291とスイッチ293とが同時に閉じることがないように、また交互に閉じるように印加されるので、コンデンサ292が充電された後にその電荷がコンデンサ294に転送される。そのため、差動アンプ295は、LPF25とLPF27の出力差の積分値に比例した大きさの電圧を出力し、これがバッファアンプ296を通過後、制御信号31として制御電極33に与えられる。すなわち、制御信号31は、出力信号22の直流成分に応じた電圧を有する信号になり、制御電極33に与えられる。

【0041】

図3は、第1の実施の形態における電極の配置図である。

【0042】

図3 (a) や図3 (b) に示すように、信号電極11とグラウンド電極13とをEO結晶7を挟むようにして設け、同じように、制御電極33と制御グラウンド電極35とをEO結晶7を挟むようにして設ければ、EO結晶7に均一に電界が印加されるので好ましい。なお、図3 (c) に示すように、各電極をEO結晶7の片側に設ければ、EO結晶7が薄い場合に電極を実装しやすくなる。また、図3 (d) のように、グラウンド電極を分離してもよい。また、図3 (e) のようにグラウンド電極13と制御グラウンド電極35とを共通にすれば電界センサを簡素に構成にできる。

【0043】

かかる構成を有する第1の実施の形態の電界センサでは、積分器29 (制御信号生成手段) が出力信号22に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号31を生成する。この制御信号31が制御電極33に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号15による分の電界だけでなく、制御信号31による分の電界が印加され、後者の電界により光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。

【0044】

【第2の実施の形態】

図4は、第2の実施の形態における電界センサの構成図である。

【0045】

以下、第1の実施の形態の電界センサとの差異を説明し、同一の構成については説明を省略する。

【0046】

第2の実施の形態の電界センサは、EO結晶7に制御電極33と制御グラウンド電極35が設けられておらず、電極としては、信号電極11とグラウンド電極13だけが設けられている。また、第2の実施の形態の電界センサは、被測定信号15に対し制御信号31を加算する加算器37を有し、加算後の被測定信号15Aが信号電極11に与えられる。なお、加算器37は制御信号付与手段に相当する。

【0047】

図5は、加算器37の回路図である。

【0048】

加算器37は、コンデンサ371とコイル372とを直列接続して構成され、コイル372に接続されていない方の、コンデンサ371の端子に被測定信号15が与えられ、コンデンサ371に接続されていない方の、コイル372の端子に制御信号31が与えられ、コンデンサ371とコイル372との接続点の信号を被測定信号15AとしてEO結晶7に与えられる。コンデンサ371は高周信号である被測定信号15を通過させるが低周波信号である制御信号31を遮断する。一方、コイル372は低周波信号である制御信号31を通過させるが高周波信号である被測定信号15を遮断する。したがって、被測定信号15に対し制御信号31を加算することができる。なお、加算器37は、デジタル回路により構成してもよい。

【0049】

かかる構成を有する第2の実施の形態の電界センサでは、積分器29 (制御信号生成手段) が出力信号22に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号31を生成する。この制御信号31が加算器37に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号15による分の電界だけでなく、制御信号31による分の電界が印加され、後者の電界により光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。

【0050】

【第3の実施の形態】

図6 (a) は、第3の実施の形態における電界センサの構成図である。

【0051】

第3の実施の形態における電界センサは電波測定に用いられるので、反射型光学系を有する。以下、第1の実施の形態の電界センサとの差異を説明し、同一の構成については説明を省略する。

【0052】

第3の実施の形態における電界センサは、EO結晶7に設けられた電極に与えられる被測定信号15を測定するのではなく、空間を伝播してEO結晶7に直接入射する被測定電波や、図6 (b) に示すような測定対象の電気回路などから発生する電界を測定するものであるので、信号電極11とグラウンド電極13を備えていない。

【0053】

また、この電界センサにあっては、PBS9に代えて、光源1からEO結晶7の方に、順にPBS91及び92が設けられている。位相補償板5は、PBS92とEO結晶7の間に設けられ、PBS91とPBS92との間に位相補償板（具体的には、1/2波長板）37とファラデー回転子39とが設けられている。そして、EO結晶7の光ビーム入射面と反対側の面には誘電体鏡71が設けられ、この誘電体鏡71の面に被測定電波16が入射される。

【0054】

かかる構成を有する第3の実施の形態の電界センサでは、光源1からの光ビーム3は、PBS91、位相補償板38、ファラデー回転子39、PBS92及び位相補償板5を通り抜けてからEO結晶7に入射する。そして誘電体鏡71で反射しEO結晶7を出射してから、位相補償板5によって適当な偏光状態に調整されPBS92に入射する。PBS92は光ビーム3をSおよびP偏光成分に分離し、S偏光成分はPD17に入射する。一方、PBS92を透過したP偏光成分は、ファラデー回転子39と位相補償板38でS偏光に変換された後に、PBS91に入射する。PBS91は、そのS偏光成分をPD19に入射させる。

【0055】

図7は、第3の実施の形態における電極の配置図である。

【0056】

図7 (a) に示すように、制御電極33と制御グラウンド電極35とをEO結晶7を挟むようにして設けてもよいし、図7 (b) に示すように、各電極をEO結晶7の片側に設けてもよい。また、図7 (c) に示すように制御グラウンド電極35を分離してもよい。このように、第3の実施の形態にあっては、被測定信号が与えられる電極が不要なので簡素な構成になる。

【0057】

かかる構成を有する第3の実施の形態の電界センサにあっては、第1の実施の形態と同様に、積分器29により、出力信号22に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号31が生成され、この制御信号31が制御電極33に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号15による分の電界だけでなく、制御信号31による分の電界が印加され、後者の電界により光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】第1の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図2】積分器29（スイッチトキャパシタ積分器）の回路図とドライブ信号の波形図である。

【図3】第1の実施の形態における電極の配置図である。

【図4】第2の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図5】加算器37の回路図である。

【図6】第3の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図7】第3の実施の形態における電極の配置図である。

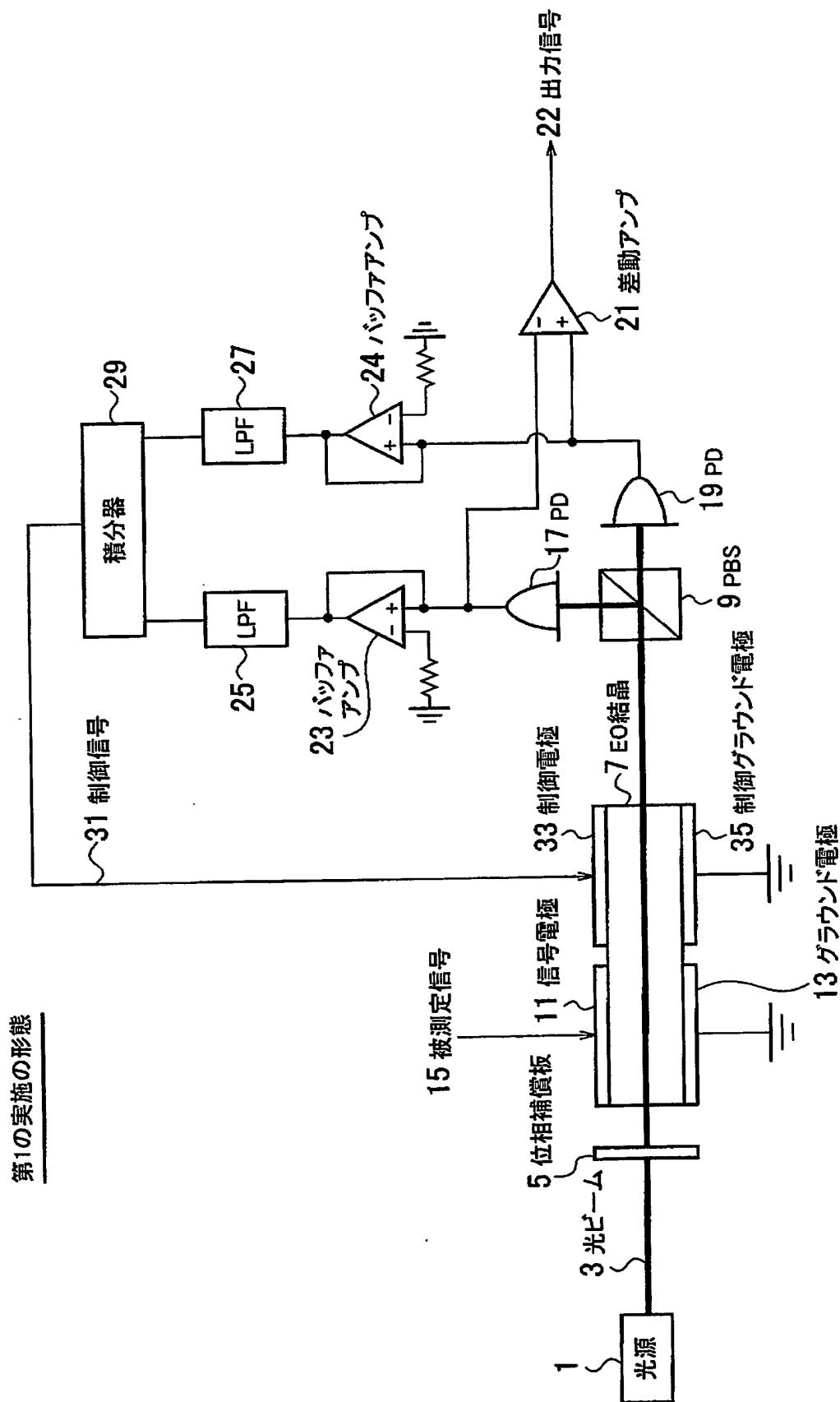
【図8】従来の電界センサの動作説明図である。

【図9】P B S 9に入射する光ビームの偏光状態とそれに対応する電気信号の関係を示す図である。

【符号の説明】

【0059】

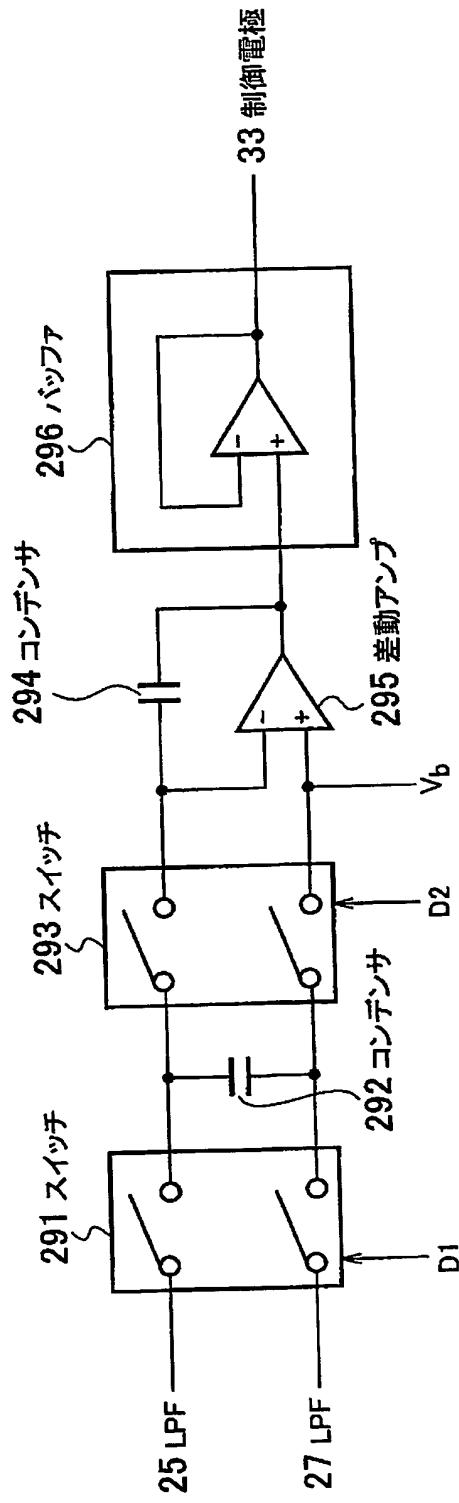
- 1 …光源
- 3 …光ビーム
- 5 …位相補償板
- 7 …E O結晶
- 9 …P B S
- 1 1 …信号電極
- 1 3 …グラウンド電極
- 1 5 …被測定信号
- 1 5 A …被測定信号（制御信号31加算後）
- 1 6 …被測定電波
- 1 7, 1 9 …P D
- 2 1, 2 9 5 …差動アンプ
- 2 2 …出力信号
- 2 3, 2 4 …バッファアンプ
- 2 5, 2 7 …L P F
- 2 9 …積分器
- 3 1 …制御信号
- 3 3 …制御電極
- 3 5 …制御グラウンド電極
- 3 8 …位相補償板
- 3 7 …加算器
- 3 9 …ファラデー回転子
- 7 1 …誘電体鏡
- 9 1 …P B S
- 9 1, 9 2 …P B S
- 9 2 …P B S
- 2 9 1, 2 9 3 …スイッチ
- 2 9 2, 2 9 4, 3 7 1 …コンデンサ
- 2 9 6 …バッファアンプ
- 3 7 2 …コイル

【書類名】 図面
【図 1】

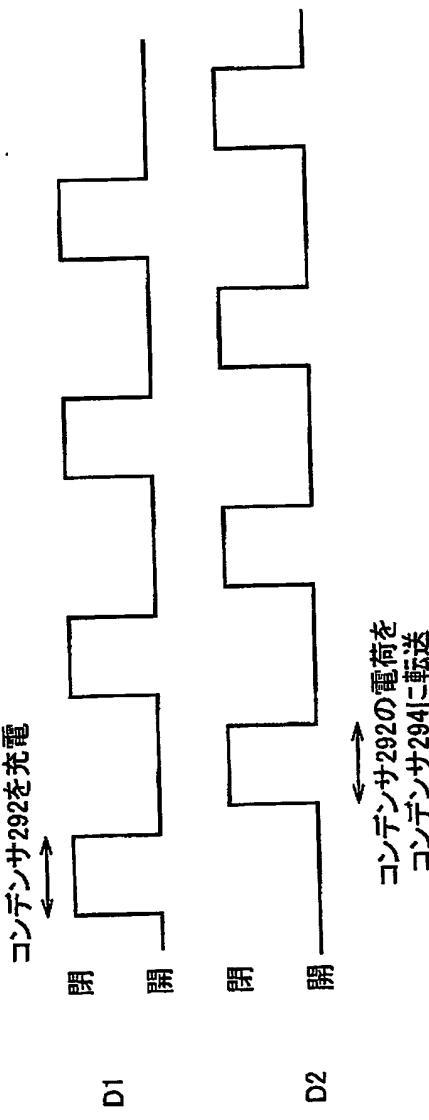
【図2】

29 積分器(スイッチキャバシタ積分器)

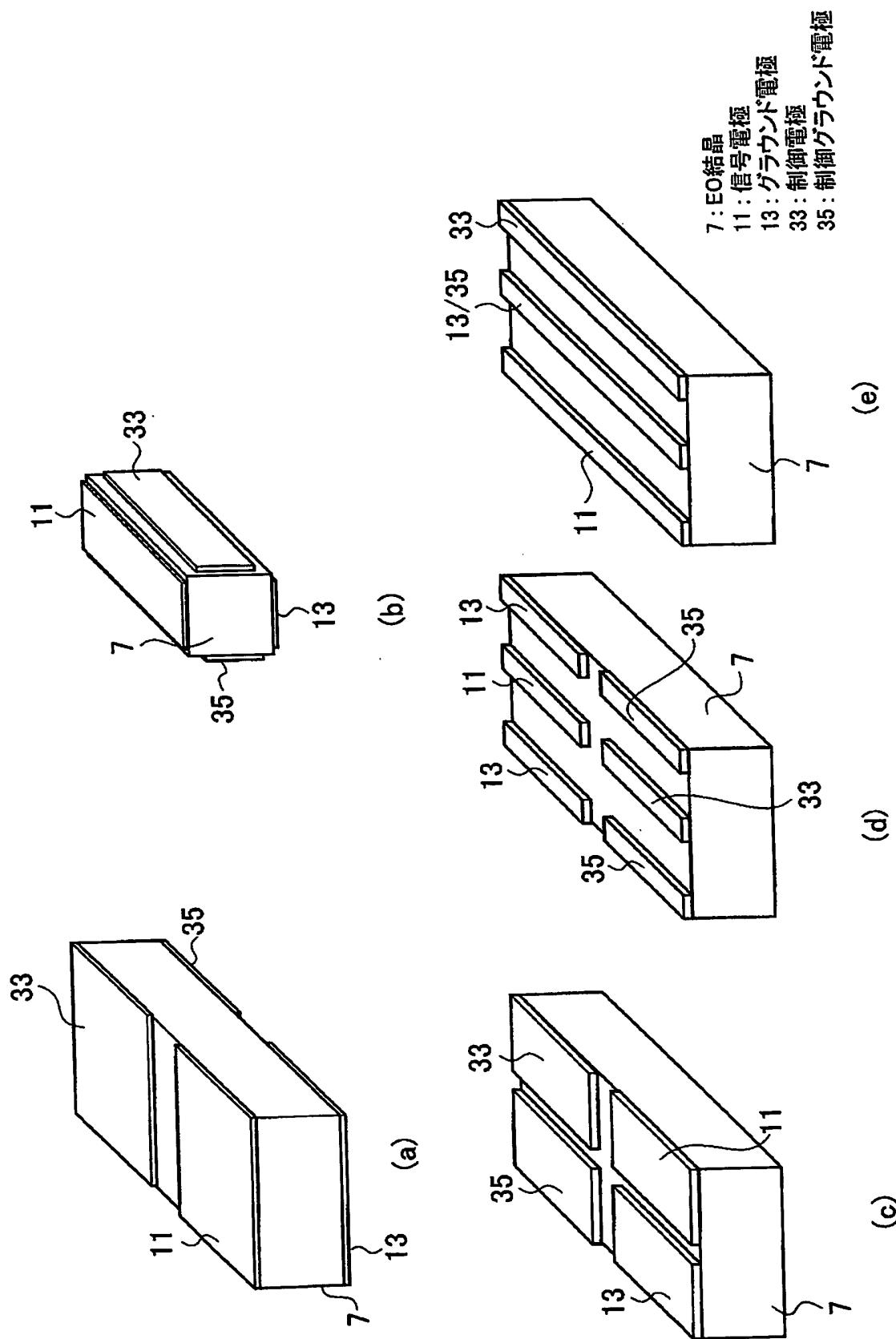
(a)



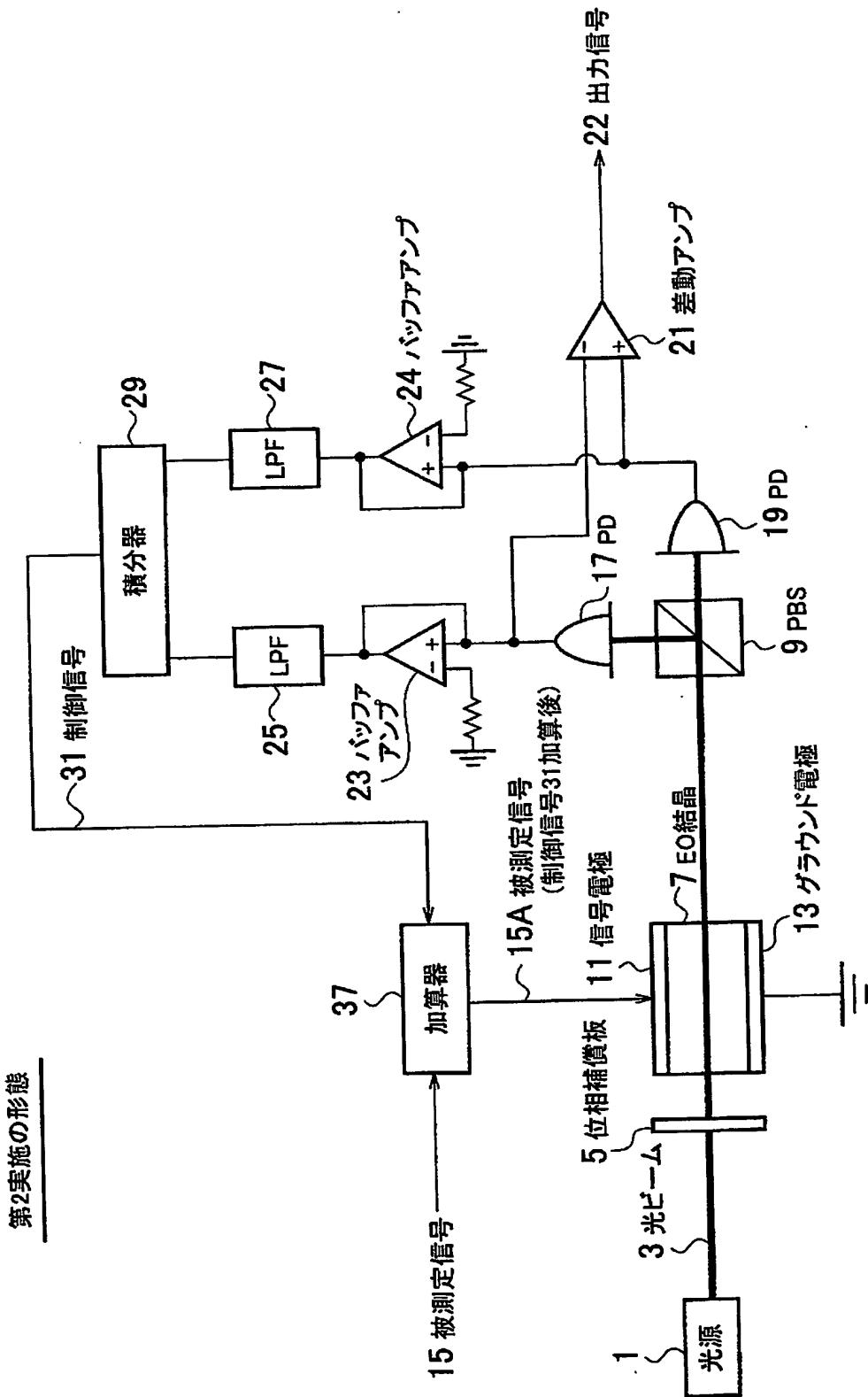
(b)



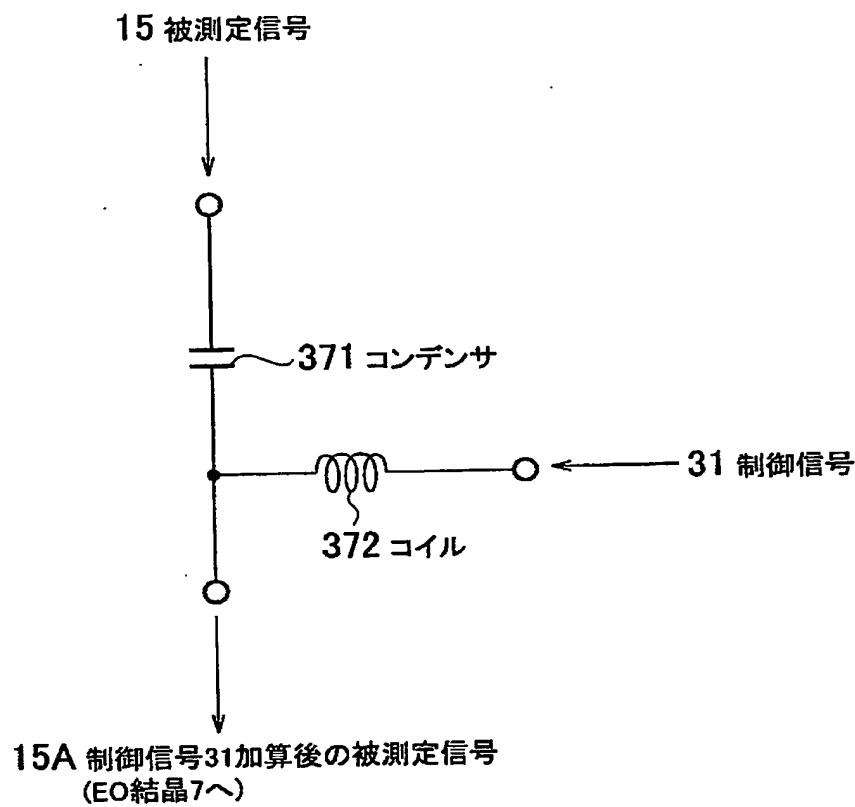
【図 3】



【図4】

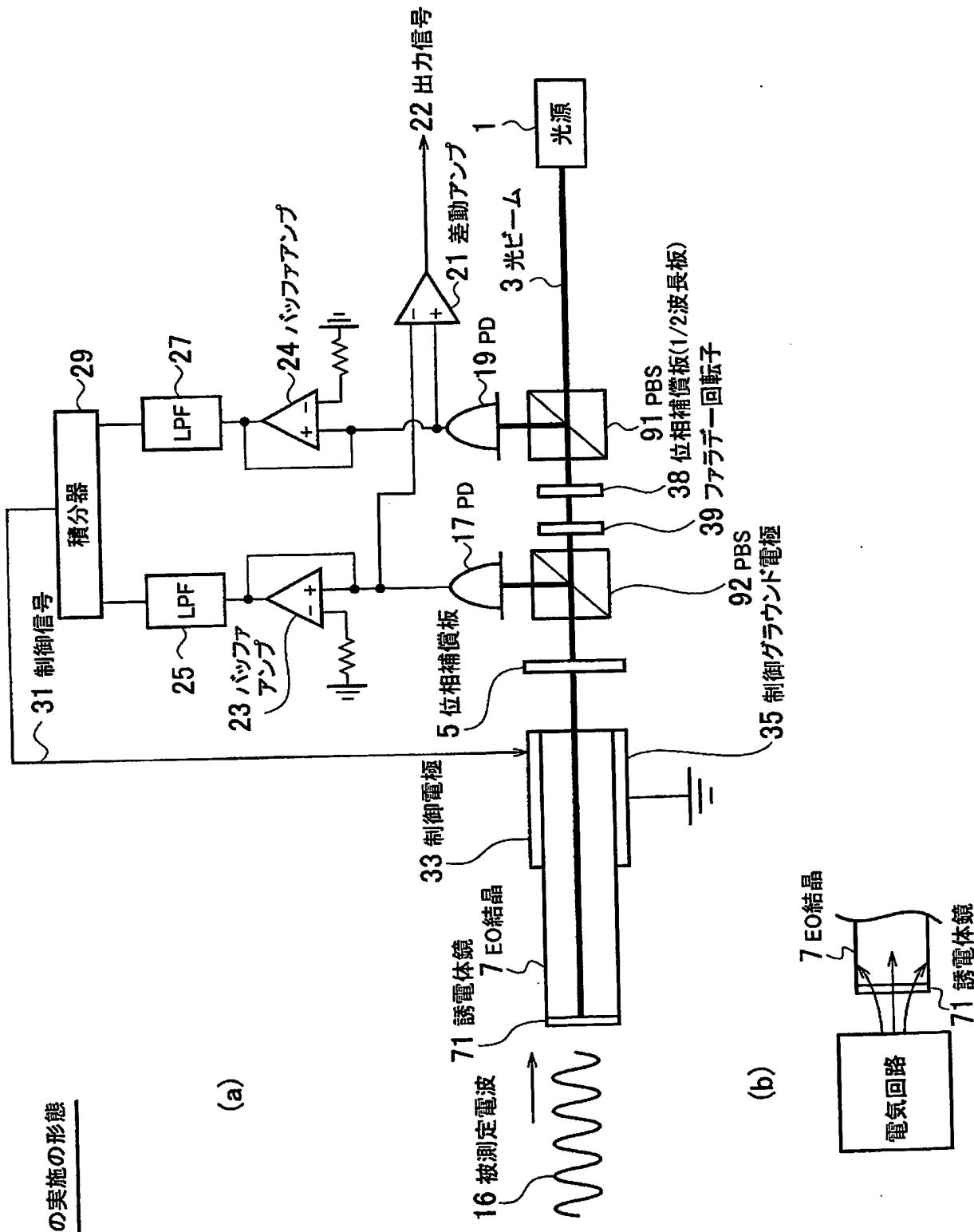


【図 5】

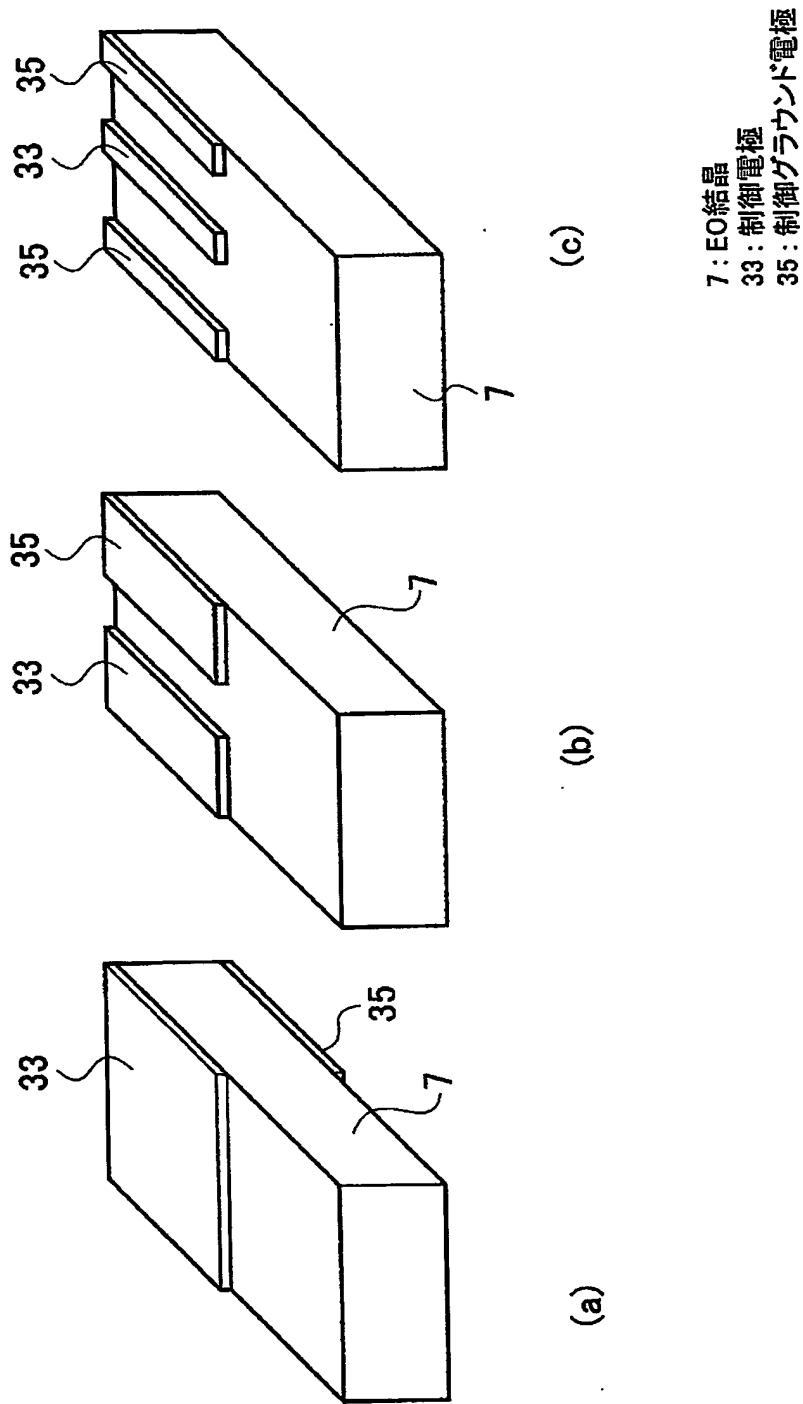
37 加算器

【図 6】

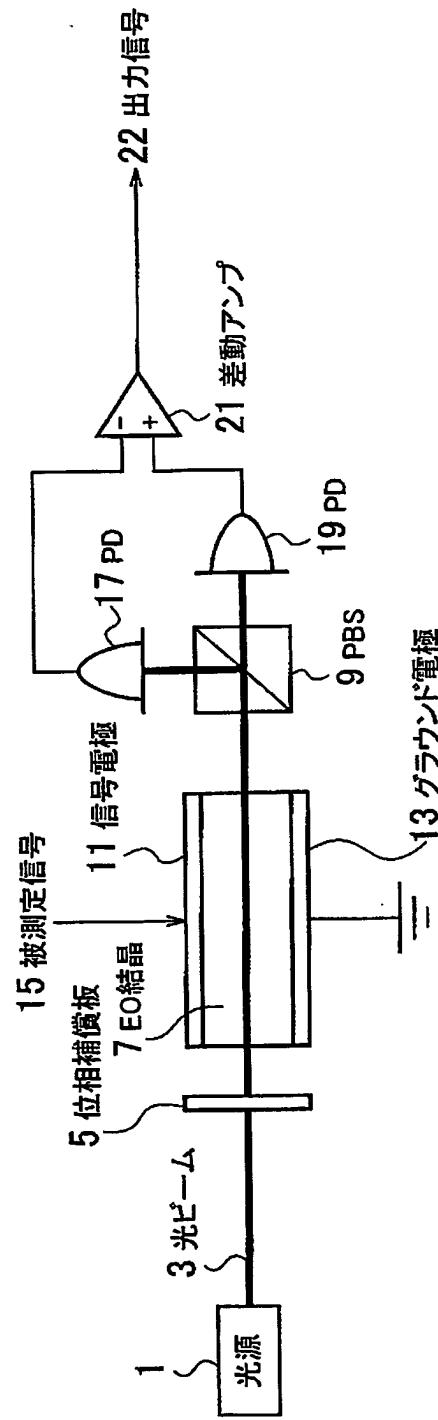
第3の実施の形態



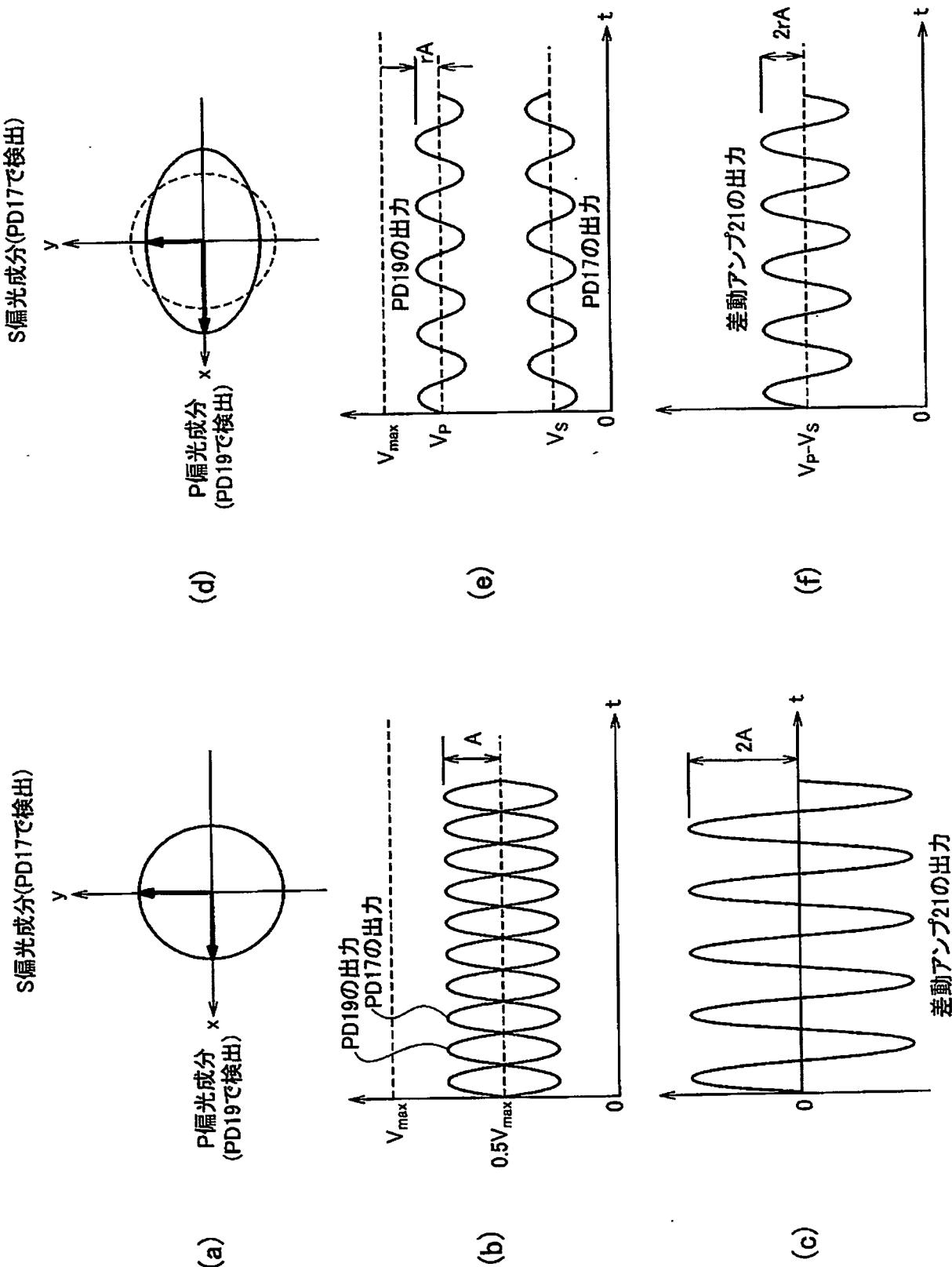
【図7】



【図 8】



【図9】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光の偏光状態を円偏光に保ったまま S 偏光成分と P 偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の差分に応じた交流信号を得る電界センサを提供する。

【解決手段】 出力信号 22 に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号 31 を生成し、この制御信号 31 が EO 結晶 7 に設けられた制御電極 33 に与えられるので、 EO 結晶 7 に印加される制御信号 31 分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【選択図】 図 1

特願 2003-380400

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏 名 日本電信電話株式会社

09.8.2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 30 SEP 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日 2003年11月10日
Date of Application:

出願番号 特願2003-380407
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-380407]

出願人 日本電信電話株式会社
Applicant(s):

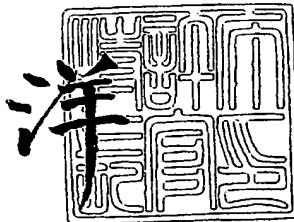
**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2004年 9月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTH156578
【提出日】 平成15年11月10日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 29/08
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 佐々木 愛一郎
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 品川 満
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 藤浦 和夫
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 豊田 誠治
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 笹浦 正弘
【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】 100083806
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 秀和
【選任した代理人】
【識別番号】 100068342
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 保男
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 001982
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701396

【書類名】特許請求の範囲**【請求項1】**

交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサの調整方法において、

前記電気光学結晶に設けられた制御電極に対して制御信号を与え、該制御信号の電圧を前記交流信号を基にして変更することを特徴とする電界センサの調整方法。

【請求項2】

前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであることを特徴とする請求項1記載の電界センサの調整方法。

【請求項3】

電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサの調整方法において、

前記信号電極への前記信号の経路に設けられた加算器に制御信号を与え、該制御信号の電圧を前記交流信号を基にして変更することを特徴とする電界センサの調整方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】電界センサの調整方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光から交流信号を得る電界センサの調整方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電気光学(Electro-Optic: 以下、EOという)効果を利用した電界センサにおいては、交流の電界が印加されているEO結晶に光ビームを入射させ、EO結晶から出射された光を偏光ビームスプリッタ(Polarizing-Beam Splitter: 以下、PBSという)によりS偏光とP偏光とに分離し、2つのPDによってそれぞれの偏光を独立に検出する。そして、各偏光の強度の差を光検出器(Photodetector: 以下、PDという)と差動アンプで検出する。

【0003】

PBSに入射する直前の光ビームの偏光状態としては、円偏光であることが望ましい。円偏光のときの主なメリットを以下に列挙する。

【0004】

(1) 光ビームの強度変調度が最大となり、高感度の検出に寄与する。PDからの信号の2倍の振幅を得ることができる。

【0005】

(2) 差動信号検出によって光ビームの強度雑音を低減できるので、高感度の検出に寄与する。

【0006】

(3) 差動信号検出によって信号の直流成分を相殺できるので、信号処理回路の負担軽減に寄与する。

【0007】

図7は、従来の電界センサの動作説明図である。

【0008】

光源1から出斜した光ビーム3は位相補償板5とEO結晶7を透過後、PBS9に入射する。光ビーム3の偏光状態は、PBS9に入射する直前において円偏光になるように、位相補償板5によって調整されている。EO結晶7には、信号電極11及びグラウンド電極13を介して、交流の被測定信号15に応じた交流電界が印加される。光ビーム3は電界に応じてEO結晶7内にて偏光変調を受ける。偏光変調光はPBS9でSおよびP偏光成分に分離される。このとき、各偏光成分は強度変調光に変換されている。強度変調されたSおよびP偏光成分は互いに逆相に変化する。したがって、PD17及び19で受光し、差動アンプ21を用いて差動信号検出することによって、より高感度な出力信号22を得ることが可能となる。

【0009】

図8は、PBS9に入射する光ビームの偏光状態とそれに対応する電気信号の関係を示す図である。

【0010】

図8(a)に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、PBS9で分離されるSおよびP偏光成分の強度は一定である。

【0011】

図8(b)に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、PD17および19が出力する電気信号は、0.5V_{max} (V_{max}は全光量に対応するPDの出力電圧)を基準値として被測定信号(この場合は正弦波)に対応した信号となり、互いに逆相に変化する。ここで、それぞれの信号の最大振幅をAとおく。

【0012】

図8 (c) に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、差動アンプ21の出力信号の最大振幅は2Aとなり、直流成分は相殺される。またこの時には、PD17および19の出力信号に含まれている光強度雑音も大幅に低減される。

【0013】

なお、以下の特許文献1には上記技術が開示されている。

【特許文献1】特開2003-98205号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、電界センサにあっては、図8 (d) に示すように、PBS9に入射する光ビームが円偏光に保たれておらず橢円偏光になっているならば、PBS9で分離されるSおよびP偏光成分の強度にアンバランスが生じる。これは、主に温度変化によるものである。

【0015】

図8 (e) に示すように、PBS9に入射する光ビームが橢円偏光になっているならば、PD17および19の出力電気信号の直流成分にアンバランスが生じる($V_s \neq V_p$ かつ $V_s + V_p = V_{max}$)。また、図8 (b) の状態に比べて信号振幅rAが小さくなる($rA, 0 \leq r < 1$)。

【0016】

図8 (f) に示すように、PBS9に入射する光ビームが橢円偏光になっているならば、差動アンプ21の出力電気信号には直流成分($V_p - V_s$)が残る。振幅は2rAとなり、図8 (c) の状態に比べて小さくなる。またこの時には、PD17および19の出力信号に含まれている光強度雑音を十分に低減することができない。

【0017】

なお、光ビームがPBS9に入射する直前の偏光状態を常に円偏光に保つことは、温度変化のある場合には困難である。

【0018】

以上のように、電界センサにおいては光ビームが橢円偏光に変化してしまうので、以下のデメリットが生じる。

【0019】

(1) 光ビームの強度変調度が低下するのでセンサとしての感度が低下する。

【0020】

(2) SおよびP偏光成分の平均強度にアンバランスが生じ、差動信号検出によってレーザ強度雑音を十分に低減することが不可能であり、センサとしての感度が低下する。

【0021】

(3) 差動信号検出によって信号の直流成分を十分に低減できない。

【0022】

そこで本発明は、上記の従来の課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて、電気光学結晶から出射された光を円偏光にするための電界センサの調整方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0023】

上記従来の課題を解決するために、請求項1の本発明は、交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサの調整方法において、前記電気光学結晶に設けられた制御電極に対して制御信号を与え、該制御信号の電圧を前記交流信号を基にして変更することを特徴とする電界センサの調整方法をも

って解決手段とする。

【0024】

請求項1の調整方法によれば、電気光学結晶に設けられた制御電極に対して制御信号を与え、該制御信号の電圧を交流信号を基にして変更するので、電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【0025】

請求項2の本発明は、前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであることを特徴とする請求項1記載の電界センサの調整方法をもって解決手段とする。

【0026】

請求項2の調整方法によれば、電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により交流電界が印加される電気光学結晶に設けられた制御電極に対して制御信号を与え、該制御信号の電圧を交流信号を基にして変更するので、電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【0027】

請求項3の本発明は、電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサの調整方法において、前記信号電極への前記信号の経路に設けられた加算器に制御信号を与え、該制御信号の電圧を前記交流信号を基にして変更することを特徴とする電界センサの調整方法をもって解決手段とする。

【0028】

請求項3の調整方法によれば、信号電極への信号の経路に設けられた加算器に制御信号を与え、該制御信号の電圧を交流信号を基にして変更するので、電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる

【発明の効果】

【0029】

本発明によれば、電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にするので、温度変化によらず、出力信号の直流成分を十分に低減でき、そのため、光ビームの強度変調度及びセンサとしての感度を高めることができる。また、レーザ強度雑音を十分に低減できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0030】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。なお、図7に示した電界センサの部品と同一の部品には同一符号を付す。

【0031】

【第1の実施の形態】

図1は、第1の実施の形態における電界センサの調整方法を示す図である。

【0032】

第1の実施の形態の電界センサでは、交流の電界が印加されているEO結晶に光ビームを入射させ、EO結晶から出射された光をPBSによりS偏光とP偏光とに分離し、各偏光の強度の差分を差動アンプで検出する構成をとる。

【0033】

即ち、図1にあっては、光源1から出斜した光ビーム3は位相補償板5とEO結晶7を透過後、PBS9に入射する。PBS9に入射する直前の光ビームの偏光状態は、所定の周囲温度において円偏光になるように、位相補償板5によって調整されている。EO結晶7には、信号電極11及びグラウンド電極13を介して被測定信号15（例えば、数kHzから数百MHzの交流）に応じた電界が印加される。光ビーム3は、電界に応じてEO結晶7内にて偏光変調される。偏光変調光はPBS9でSおよびP偏光成分に分離される。このとき、各偏光成分は強度変調光に変換されている。強度変調されたSおよびP偏光

成分は互いに逆相に変化する。PD17及び19はSおよびP偏光成分を受光し、出力を差動アンプ21によって差動演算することによって、出力信号22が得られる。

【0034】

次に、かかる構成を有する電界センサが、例えば、前記所定の周囲温度とは異なる周囲温度の環境に置かれた場合や、位相補償板5だけでは偏光調整がしきれずに、さらなる調整が必要な場合の調整方法について説明する。具体的には、この調整方法は、電界センサの実験や、電界センサを用いた製品の出荷段階での特性の合わせ込みなどで実施される。

【0035】

さて、第1の実施の形態における電界センサのEO結晶7には、調整のための信号が与えられる制御電極23と、接地された制御グラウンド電極25が設けられている。

【0036】

図2は、第1の実施の形態における電極の配置図である。

【0037】

図2(a)や図2(b)に示すように、信号電極11とグラウンド電極13とをEO結晶7を挟むようにして設け、同じように、制御電極23と制御グラウンド電極25とをEO結晶7を挟むようにして設ければ、EO結晶7に均一に電界が印加されるので好ましい。なお、図2(c)に示すように、各電極をEO結晶7の片側に設ければ、EO結晶7が薄い場合に電極を実装しやすくなる。また、図2(d)のように、グラウンド電極を分離してもよい。また、図2(e)のようにグラウンド電極13と制御グラウンド電極25とを共通にすれば電界センサを簡素に構成にできる。

【0038】

図1に戻り、説明する。

【0039】

この電界センサの調整には、出力信号22を、例えば図8(f)に示すように表示する表示器27と、制御電極23に制御信号(直流電圧)31を与える可変直流電源31とが用いられる。

【0040】

例えば、調整者は、表示器27に表示された出力信号22の直流成分が無くなるように、可変直流電源31の電圧(制御信号29の電圧)を調整する(変更する)。制御信号29が制御電極23に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号15による分の電界だけでなく、制御信号29による分の電界が印加され、後者の電界により光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。

【0041】

[第2の実施の形態]

図3は、第2の実施の形態における電界センサの調整方法を示す図である。

【0042】

以下、第1の実施の形態の調整方法との差異を説明し、同一の事項については説明を省略する。

【0043】

第2の実施の形態の電界センサは、EO結晶7に制御電極23と制御グラウンド電極25が設けられておらず、電極としては、信号電極11とグラウンド電極13だけが設けられている。また、第2の実施の形態の電界センサは、被測定信号15の信号経路に加算器33を有し、加算後の被測定信号15Aが信号電極11に与えられる。

【0044】

図4は、加算器33の回路図である。

【0045】

加算器33は、コンデンサ331とコイル332とを直列接続して構成され、コイル332に接続されていない方の、コンデンサ331の端子に被測定信号15が与えられ、コンデンサ331に接続されていない方の、コイル332の端子に制御信号29が与えられ、コンデンサ331とコイル332との接続点の信号を被測定信号15AとしてEO結晶

7に与えられる。コンデンサ331は高周信号である被測定信号15を通過させるが低周波信号である制御信号29を遮断する。一方、コイル332は低周波信号である制御信号29を通過させるが高周波信号である被測定信号15を遮断する。したがって、被測定信号15に対し制御信号29を加算することができる。なお、加算器33は、デジタル回路により構成してもよい。

【0046】

この電界センサの調整にも表示器27と可変直流電源31とが用いられる。

【0047】

例えば、調整者は、表示器27に表示された出力信号22の直流成分が無くなるように、可変直流電源31の電圧（制御信号29の電圧）を調整する（変更する）。制御信号29が加算器33に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号15による分の電界だけでなく、制御信号29による分の電界が印加され、後者の電界により光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。

【0048】

[第3の実施の形態]

図5(a)は、第3の実施の形態における電界センサの調整方法を示す図である。

【0049】

第3の実施の形態における電界センサは電波測定に用いられるので、反射型光学系を有する。以下、第1の実施の形態の電界センサとの差異を説明し、同一の構成については説明を省略する。

【0050】

第3の実施の形態における電界センサは、EO結晶7に設けられた電極に与えられる被測定信号15を測定するだけでなく、空間を伝播してEO結晶7に直接入射する被測定電波や、図5(b)に示すような測定対象の電気回路から発生する電界を測定するものである。信号電極11とグラウンド電極13を備えていない。

【0051】

また、この電界センサにあっては、PBS9に代えて、光源1からEO結晶7の方に、順にPBS91及び92が設けられている。位相補償板5は、PBS92とEO結晶7の間に設けられ、PBS91とPBS92との間に位相補償板（具体的には、1/2波長板）37とファラデー回転子39とが設けられている。そして、EO結晶7の光ビーム入射面と反対側の面には誘電体鏡71が設けられ、この誘電体鏡71の面に被測定電波16が入射される。

【0052】

かかる構成を有する第3の実施の形態の電界センサでは、光源1からの光ビーム3は、PBS91、位相補償板37、ファラデー回転子39、PBS92及び位相補償板5を通り抜けてからEO結晶7に入射する。そして誘電体鏡71に反射しEO結晶7を出射してから位相補償板5で円偏光になるように調整されPBS92に入射する。PBS92は光ビーム3をS及びP偏光成分に分離し、S偏光成分はPD17に入射する。一方、PBS92を透過したP偏光成分は、ファラデー回転子39と位相補償板37によってS偏光に変換された後、PBS91に入射する。PBS91はS偏光をPD19に入射させる。

【0053】

図6は、第3の実施の形態における電極の配置図である。

【0054】

図6(a)に示すように、制御電極23と制御グラウンド電極25とをEO結晶7を挟むようにして設けてもよいし、図6(b)に示すように、各電極をEO結晶7の片側に設けてもよい。また、図6(c)に示すように制御グラウンド電極25を分離してもよい。このように、第3の実施の形態にあっては、被測定信号が与えられる電極が不要なので簡素な構成になる。

【0055】

この電界センサの調整にも表示器27と可変直流電源31とが用いられる。

【0056】

例えば、調整者は、表示器27に表示された出力信号22の直流成分が無くなるように、可変直流電源31の電圧（制御信号29の電圧）を調整する（変更する）。制御信号29が加算器33に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号15による分の電界だけでなく、制御信号29による分の電界が印加され、後者の電界により光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】第1の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図2】第1の実施の形態における電極の配置図である。

【図3】第2の実施の形態における電界センサの調整方法を示す図である。

【図4】加算器33の回路図である。

【図5】第3の実施の形態における電界センサの調整方法を示す図である。

【図6】第3の実施の形態における電極の配置図である。

【図7】従来の電界センサの動作説明図である。

【図8】PBS9に入射する光ビームの偏光状態とそれに対応する電気信号の関係を示す図である。

【符号の説明】

【0058】

1 …光源

3 …光ビーム

5 …位相補償板

7 …EO結晶

9 …PBS

11 …信号電極

13 …グラウンド電極

15 …被測定信号

15A …被測定信号（制御信号29加算後）

16 …被測定電波

17, 19 …PD

21 …差動アンプ

22 …出力信号

23 …制御電極

25 …制御グラウンド電極

27 …表示器

29 …制御信号

31 …可変直流電源

33 …加算器

37 …位相補償板

39 …ファラデー回転子

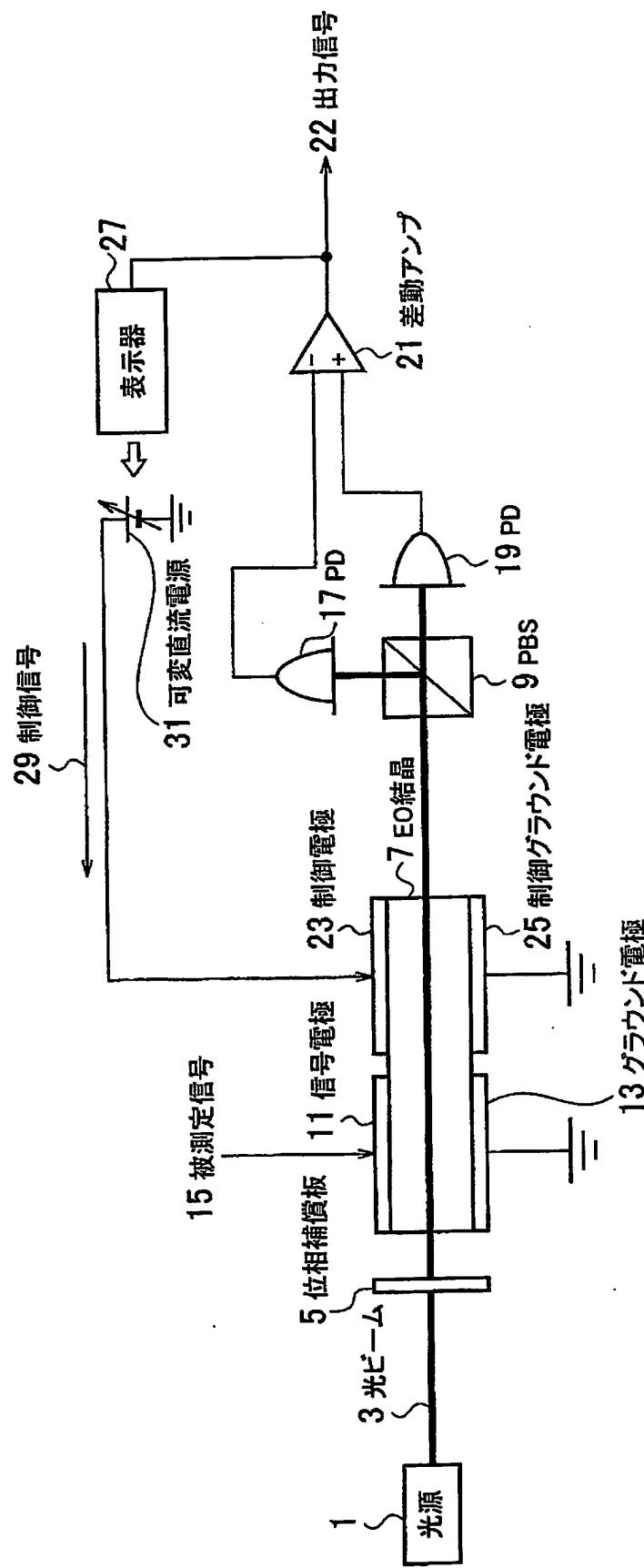
71 …誘電体鏡

91, 92 …PBS

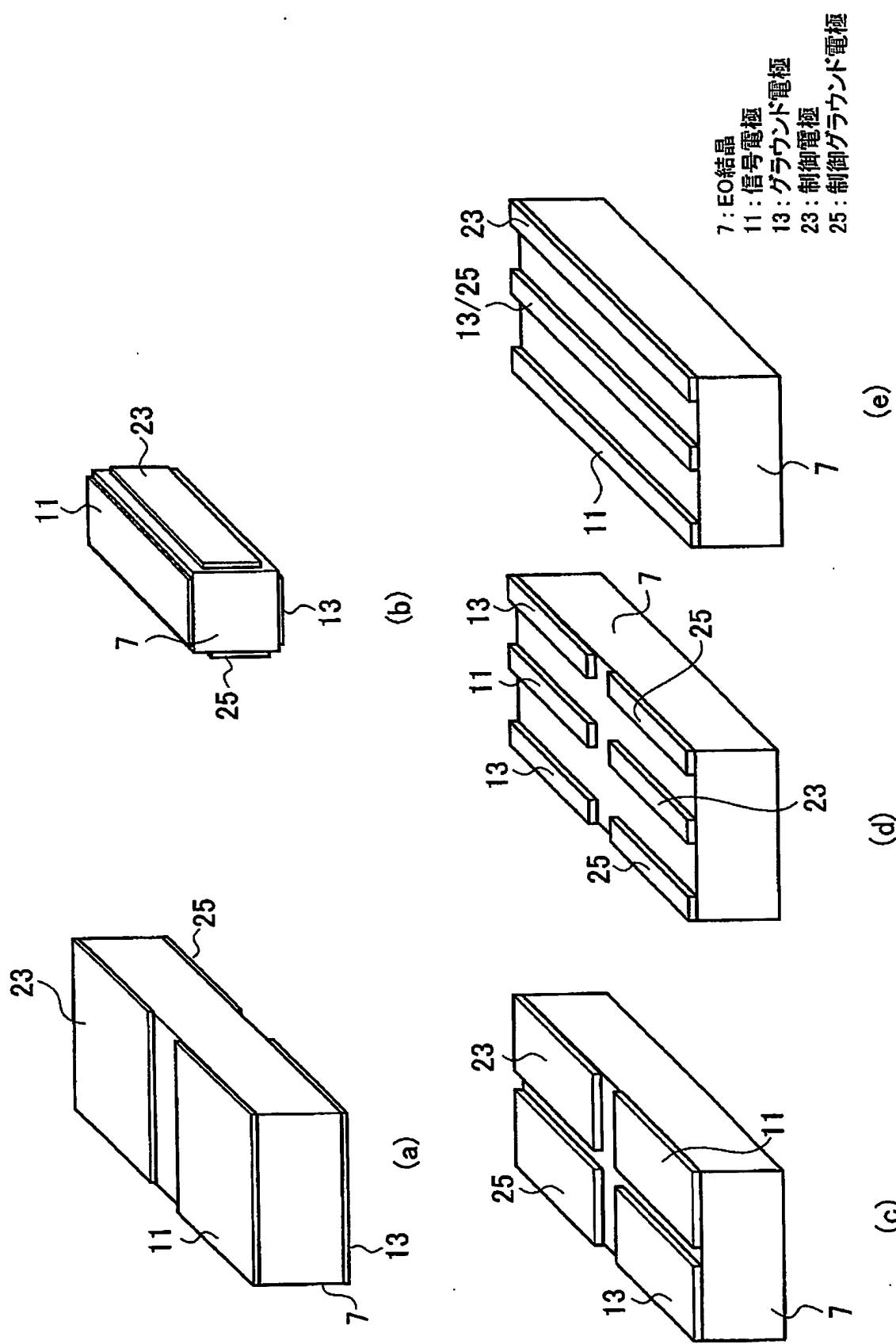
331 …コンデンサ

332 …コイル

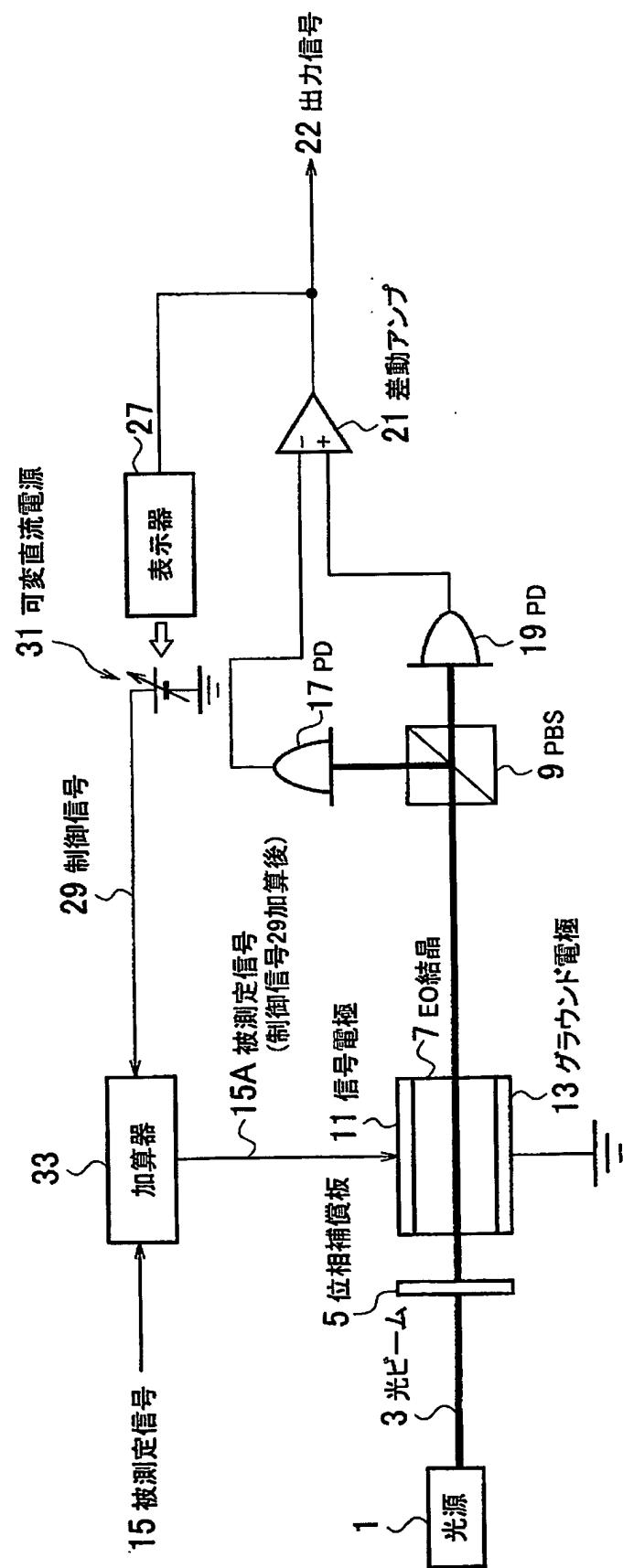
【書類名】 図面
【図1】



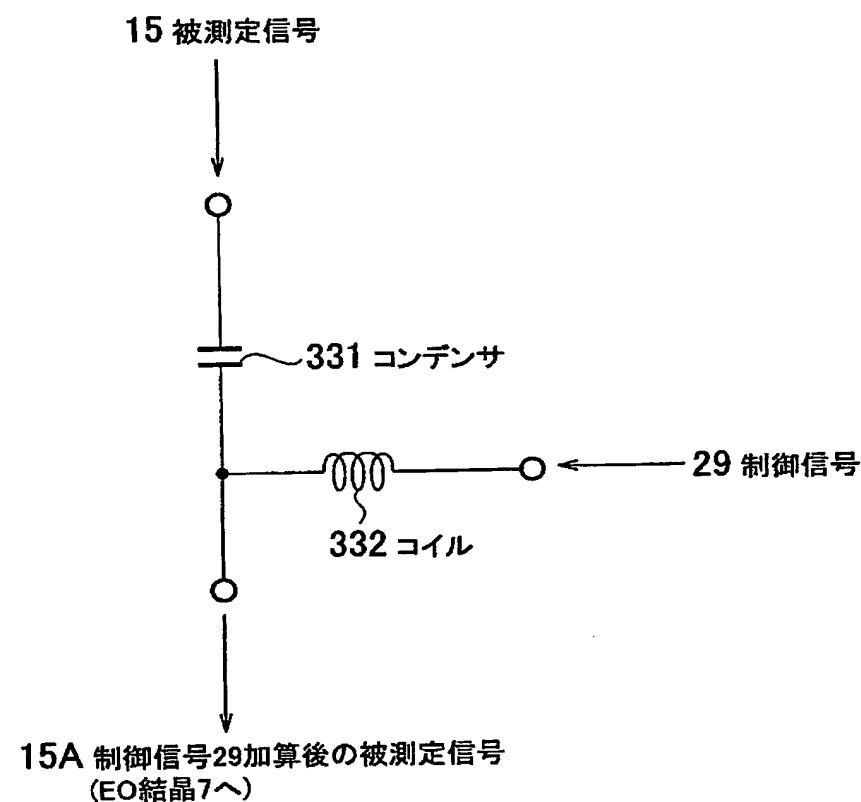
【図2】



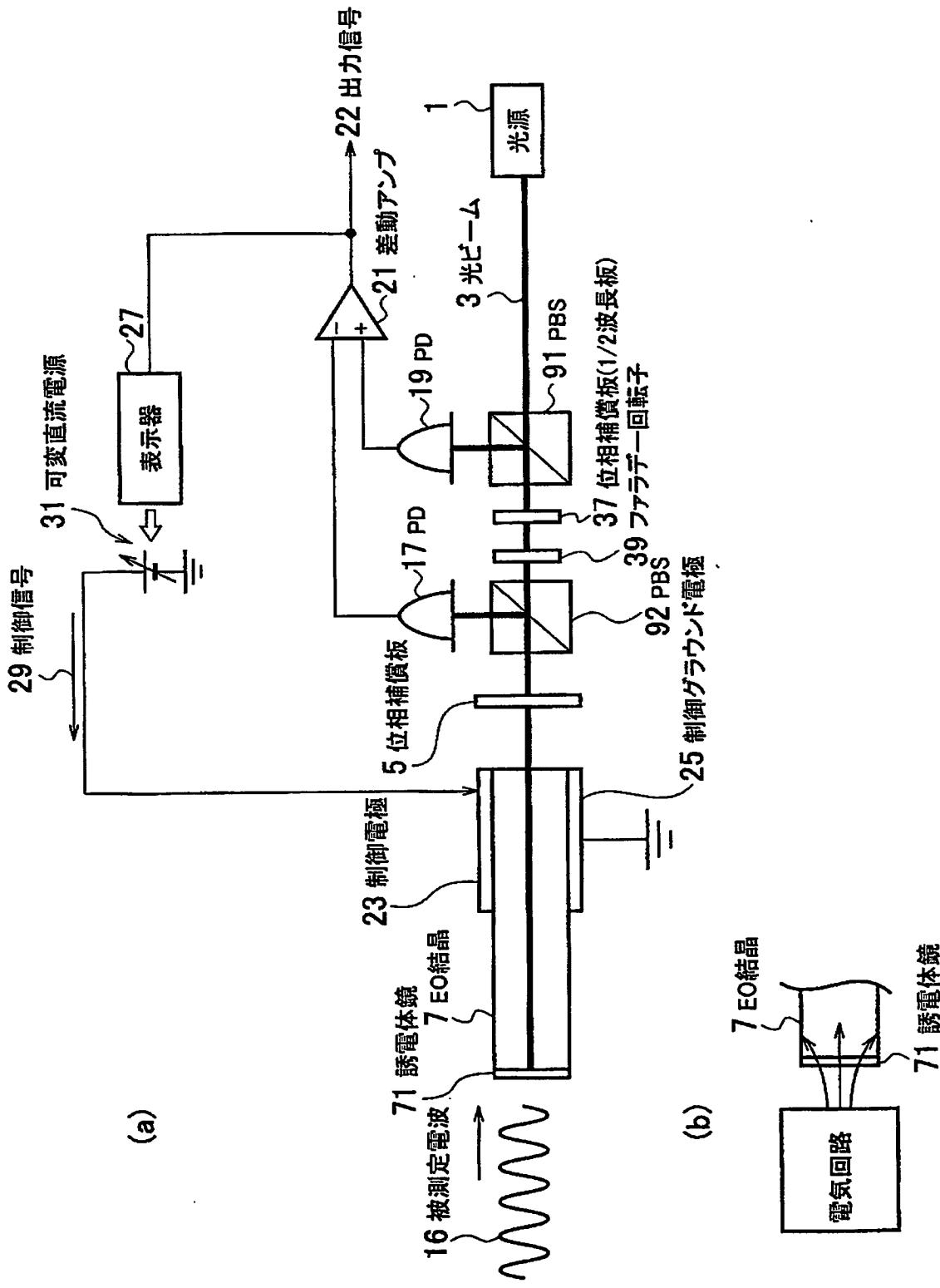
【図3】



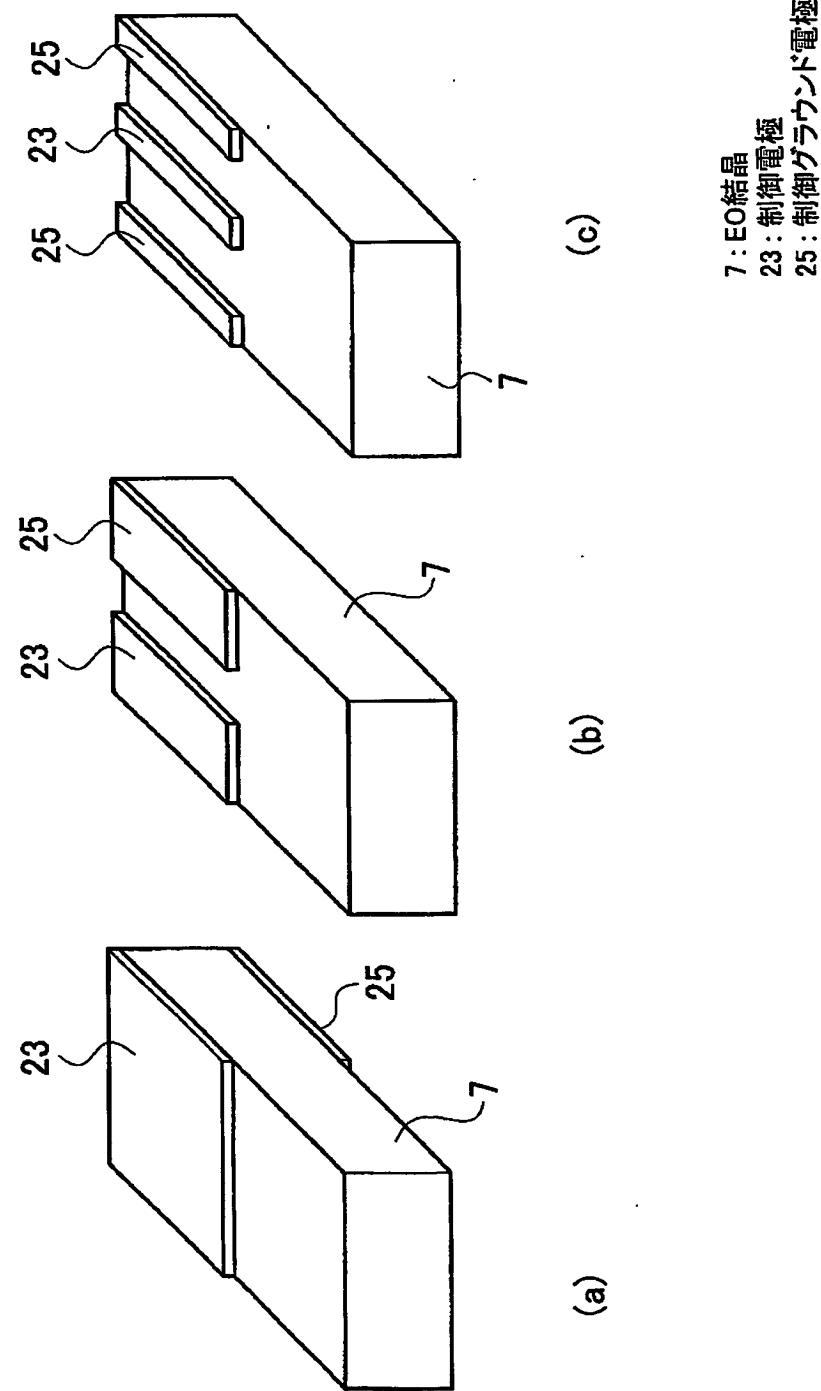
【図4】

33 加算器

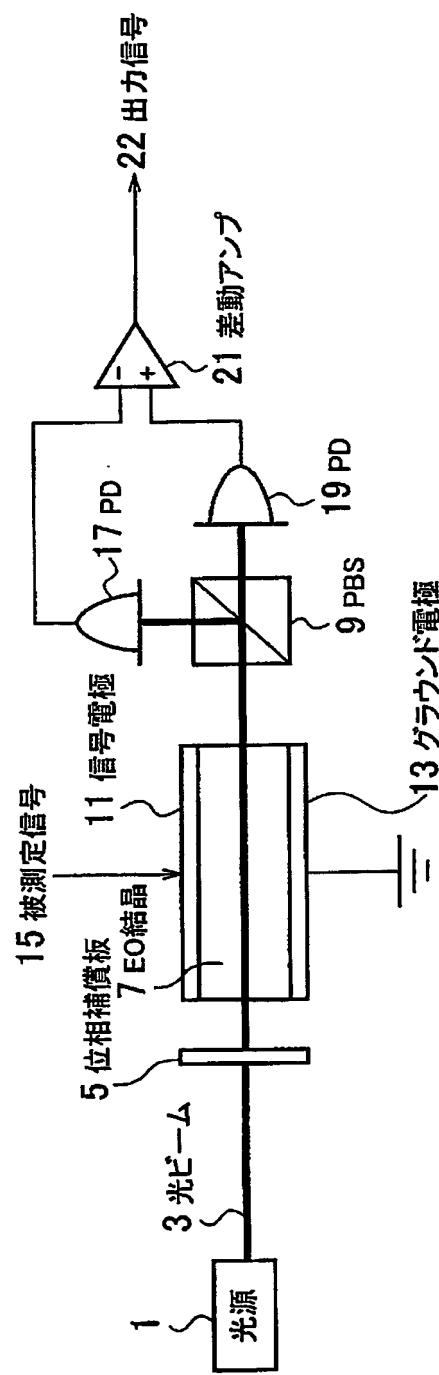
【図5】



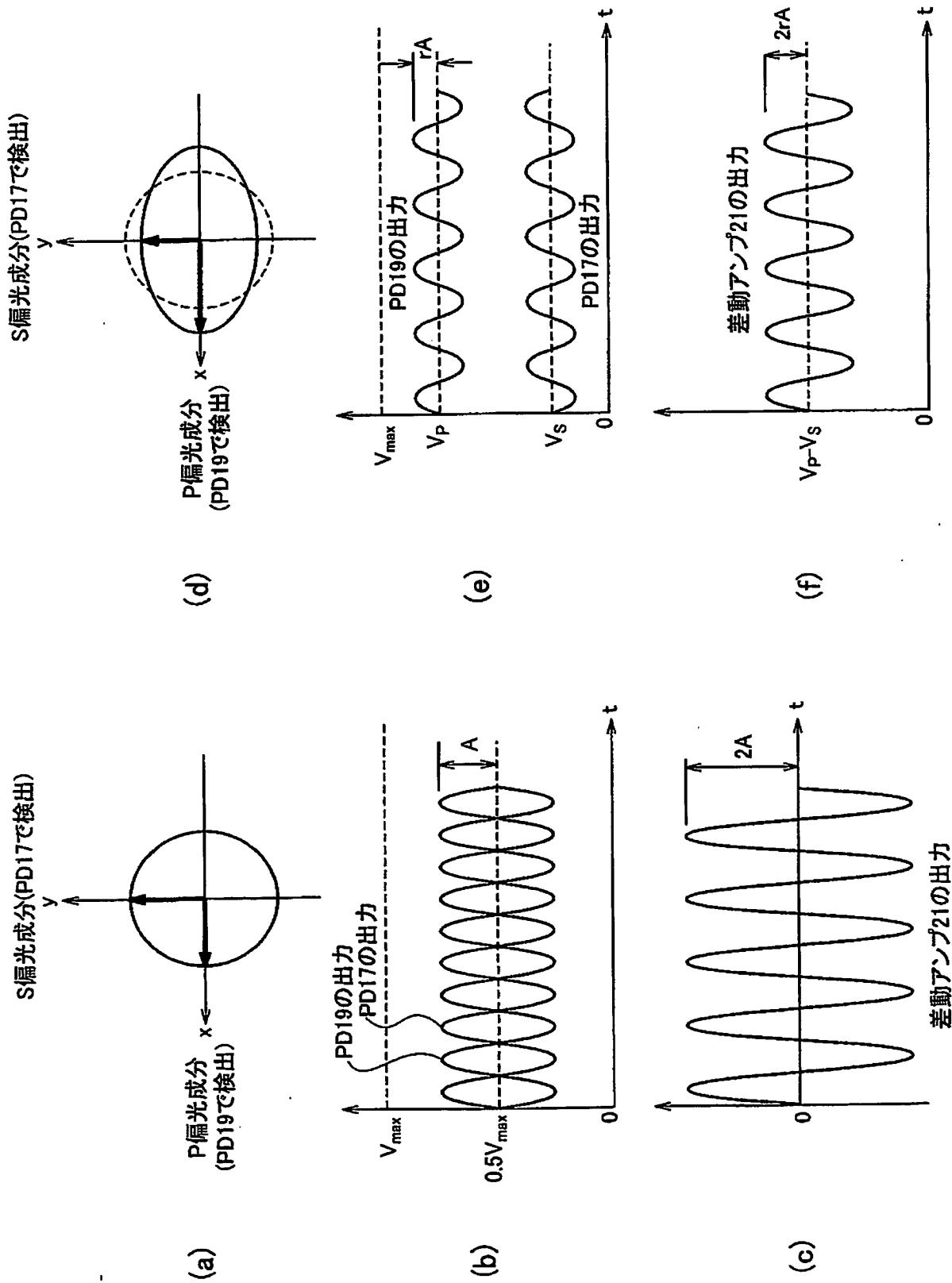
【図6】



【図7】



【図8】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 交流電界が印加されている電気光学結晶に光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて電気光学結晶から出射された光を円偏光にするための電界センサの調整方法を提供する。

【解決手段】 EO結晶7に設けられた制御電極23に対して制御信号29を与え、該制御信号29の電圧を出力信号22を基にして変更するので、EO結晶7に印加される制御信号29分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【選択図】図1

特願 2003-380407

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

09.8.2004

REC'D 30 SEP 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年11月10日

出願番号
Application Number: 特願2003-380432

[ST. 10/C]: [JP2003-380432]

出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2004年 9月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTT156530
【提出日】 平成15年11月10日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 29/08
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 佐々木 愛一郎
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 品川 満
【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】 100083806
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 秀和
【選任した代理人】
【識別番号】 100068342
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 保男
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 001982
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701396

【書類名】特許請求の範囲**【請求項1】**

交流電界が印加されている電気光学結晶に光源から光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて、

前記光が前記電気光学結晶で反射したときの反射光が前記光源に戻ることを防止する防止手段と、

前記電気光学結晶から出射された光の偏光状態を変化させる補償板と
を備えたことを特徴とする電界センサ。

【請求項2】

交流電界が印加されている電気光学結晶に光源から光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて、

前記光が前記電気光学結晶で反射したときの反射光が前記光源に戻ることを防止する防止手段と、

前記交流信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成する制御信号生成手段と、

前記制御信号を前記電気光学結晶に与える制御信号付与手段と
を備えたことを特徴とする電界センサ。

【請求項3】

前記制御信号付与手段は、前記電気光学結晶に設けられて前記制御信号が与えられる制御電極であることを特徴とする請求項2記載の電界センサ。

【請求項4】

前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の電界センサ。

【請求項5】

前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであり、前記制御信号付与手段は、前記信号電極に与えられる信号に対し前記制御信号を加算する加算器であることを特徴とする請求項2記載の電界センサ。

【請求項6】

前記S偏光成分の光を円偏光にする1/4波長板と、前記P偏光成分の光を円偏光にする1/4波長板とを備えたことを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の電界センサ。

【書類名】明細書

【発明の名称】電界センサ

【技術分野】

【0001】

本発明は、交流電界が印加されている電気光学結晶に光源から光を入射させ、電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得るとともに、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止する機構を備えた電界センサに関するものである。

【背景技術】

【0002】

電気光学(Electro-Optic:以下、EOという)効果を利用した電界センサにおいてはEO結晶が用いられる。このEO結晶を用いた電界センサは、EO結晶に電界を結合させるとともに光ビームを入射させておき、EO結晶から出射された光ビームをS偏光とP偏光とに分離し、各偏光の強度の差分を検出するのである。

【0003】

このような電界センサでは、EO結晶の端面で反射した光ビームが光源に戻ることで光源の動作が不安定になるので、この戻り光を防止する手段が設けられている。

【0004】

図8は、戻り光を防止する手段を備えた電界センサの構成図である。なお、本図において、Cは円偏光、PはP偏光、SはS偏光を表す。

【0005】

光源1から出射したP偏光は偏光ビームスプリッタ(Polarizing-Beam Splitter:以下、PBSという)3を通過し、1/4波長板(Quarter-wave plate:以下、QWPという)5によって円偏光に変換された後にEO結晶7に入射する。

【0006】

以下、EO結晶7が複屈折率を有さないものとして説明を続ける。

【0007】

このEO結晶7に設けられた信号電極19には、交流の被測定信号17が与えられる。またEO結晶7にはグラウンド電極21が設けられているので、EO結晶7内には、被測定信号17に応じた電界が印加される。

【0008】

EO結晶7が、複屈折率を有さないと、そのEO結晶7を透過した光ビームは円偏光のままである。円偏光はPBS9によってSおよびP偏光に分離された後に、2つの光検出器(Photodetector:以下、PDという)11及び13によって電気信号に変換される。PD11及び13からの電気信号は、被測定信号17と同じく交流信号であり、互いに逆相で変化するが、PBS9への光ビームが円偏光であったので、両電気信号の平均強度は等しくなる。この場合、PD11及び13からの電気信号は位相が互いに逆で同じ強度を有するから、差動アンプ15によって差動演算を行うことにより、強度が2倍である出力信号16を得ることができる。したがって、高感度な信号検出が可能となる。また、レーザ強度雑音のように同相で変化する雑音も、差動演算によって低減される。

【0009】

図9は、PBS9に入射する光ビームの偏光状態とそれに対応する電気信号の関係を示す図である。

【0010】

図9(a)に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、PBS9で分離されるSおよびP偏光成分の平均強度は一定である。

【0011】

図9(b)に示すように、PBS9に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、PD11および13が出力する電気信号は、0.5V_{max} (V_{max}は全

光量に対応する P D の出力電圧) を基準値として被測定信号(この場合は正弦波)に対応した信号となり、互いに逆相に変化する。ここで、それぞれの信号の最大振幅を A とおく。

【0012】

図9 (c) に示すように、P B S 9 に入射する光ビームの偏光状態が円偏光に保たれているならば、差動アンプ15の出力信号16の最大振幅は2 A となり、直流成分は相殺される。またこの時には、P D 11 および13の出力信号16に含まれている光強度雑音も大幅に低減される。

【0013】

また、この電界センサにあっては、E O 結晶7の端面で反射された円偏光(反射光)は、Q W P 4 を通過することによってS偏光に変換されるが、このS偏光はP B S 3 で反射する。すなわち、E O 結晶7で反射した光ビームが光源1に戻る不都合を防止できる。

【0014】

なお、以下の特許文献1には上記技術の基礎となる技術が開示されている。

【特許文献1】特開2003-98205号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

上記したように、E O 結晶が複屈折率を有しない場合には、戻り光防止策を施しつつ、比較的容易に高感度で低雑音の電界検出が行える。

【0016】

しかしながら、E O 結晶が複屈折率を有する場合には、E O 結晶への入射光が円偏光であっても出射光は橢円偏光になってしまう。したがってP B S 9 により分離されたSおよびP偏光の強度にアンバランスが生じ、結果として電界センサの感度が落ち雑音が増加する。

【0017】

すなわち、図9 (d) に示すように、P B S 9 に入射する光ビームが円偏光に保たれておらず橢円偏光になっているならば、P B S 9 で分離されるSおよびP偏光成分の平均強度にアンバランスが生じる。

【0018】

図9 (e) に示すように、P B S 9 に入射する光ビームが橢円偏光になっているならば、P D 11 および13の出力電気信号の直流成分にアンバランスが生じる($V_s \neq V_p$ かつ $V_s + V_p = V_{max}$)。また、図9 (b) の状態に比べて信号振幅 $r A$ が小さくなる($r A, 0 \leq r < 1$)。

【0019】

図9 (f) に示すように、P B S 9 に入射する光ビームが橢円偏光になっているならば、差動アンプ15の出力電気信号には直流成分($V_p - V_s$)が残る。振幅は $2 r A$ となり、図9 (c) の状態に比べて小さくなる。またこの時には、P D 11 および13の出力信号16に含まれている光強度雑音を十分に低減することができない。

【0020】

そこで本発明は、上記の従来の課題に鑑みてなされたものであり、交流電界が印加されている電気光学結晶に光源から光を入射させ、電気光学結晶から出射された光の偏光状態を円偏光に保ったままS偏光成分とP偏光成分とに分離し、各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得るとともに、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止する手段を備えた電界センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0021】

上記従来の課題を解決するために、請求項1の本発明は、交流電界が印加されている電気光学結晶に光源から光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて、前記光が前記電気光学結晶で反射したときの反射光が前記光源に戻ることを防

止する防止手段と、前記電気光学結晶から出射された光の偏光状態を変化させる補償板とを備えたことを特徴とする電界センサをもって解決手段とする。

【0022】

請求項1の電界センサによれば、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶への光を円偏光にでき、その光が電気光学結晶内で楕円偏光になったとしても、補償板により、電気光学結晶から出射された楕円偏光の光を円偏光にすることがきる。

【0023】

また、請求項2の本発明は、交流電界が印加されている電気光学結晶に光源から光を入射させ、当該電気光学結晶から出射された光をS偏光成分とP偏光成分とに分離し、当該各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得る電界センサにおいて、前記光が前記電気光学結晶で反射したときの反射光が前記光源に戻ることを防止する防止手段と、前記交流信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成する制御信号生成手段と、前記制御信号を前記電気光学結晶に与える制御信号付与手段とを備えたことを特徴とする電界センサをもって解決手段とする。

【0024】

請求項2の電界センサによれば、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶への光を円偏光にでき、その光が電気光学結晶内で楕円偏光になったとしても、交流信号に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成し、この制御信号を電気光学結晶に与えるので、電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にことができる。

【0025】

また、請求項3の本発明は、前記制御信号付与手段は、前記電気光学結晶に設けられて前記制御信号が与えられる制御電極であることを特徴とする請求項2記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0026】

請求項3の電界センサによれば、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶への光を円偏光にでき、その光が電気光学結晶内で楕円偏光になったとしても、電気光学結晶に設けられた制御電極に制御信号を与えることで電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にことができる。

【0027】

また、請求項4の本発明は、前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0028】

請求項4の電界センサによれば、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶への光を円偏光にでき、その光が電気光学結晶内で楕円偏光になったとしても、電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により電界が印加された電気光学結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にことができる。

【0029】

また、請求項5の本発明は、前記交流電界は、前記電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により印加されるものであり、前記制御信号付与手段は、前記信号電極に与えられる信号に対し前記制御信号を加算する加算器であることを特徴とする請求項2記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0030】

請求項5の電界センサによれば、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶への光を円偏光にでき、その光が電気光学結晶内で楕円偏光になったとしても、信号電極に与えられる信号に対し制御信号を加算器により加算するので、電気光学結晶に設けられた信号電極に与えられた信号により交流電界が印加される電気光学

結晶内に印加される制御信号分の電界により光の偏光状態を円偏光にすることができる。

【0031】

また、請求項6の本発明は、前記S偏光成分の光を円偏光にする1/4波長板と、前記P偏光成分の光を円偏光にする1/4波長板とを備えたことを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0032】

請求項6の電界センサによれば、S偏光成分の光を円偏光にする1/4波長板を備えるので、当該円偏光がPDで反射したときの反射光が当該1/4波長板でP偏光に変換され、変換されたP偏光がPBSを通過する。また、P偏光成分の光を円偏光にする1/4波長板を備えるので、当該円偏光がPDで反射したときの反射光が当該1/4波長板でS偏光に変換され、変換されたS偏光がPBSで反射する。そのため、PDからの反射光が光源に戻ることを防止できる。

【発明の効果】

【0033】

本発明によれば、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶への光を円偏光にでき、その光が電気光学結晶内で楕円偏光になったとしても、その光の偏光状態を円偏光にすることができる。そのため、光ビームの強度変調度及びセンサとしての感度を高めることができる。また、レーザ強度雑音を十分に低減できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0034】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。なお、図8に示した電界センサの部品と同一の部品には同一符号を付して適宜説明を省略する。

【0035】

【第1の実施の形態】

図1は、第1の実施の形態における電界センサの構成図である。

【0036】

第1の実施の形態における電界センサは、図8の電界センサに加えて、EO結晶7から出射された光ビームが分離されるまでの当該光ビームの進路上に当該光ビームの偏光状態を変化させる補償板23が設けられている。

【0037】

図中のEは楕円偏光を表す。EO結晶7を通過することによって円偏光が楕円偏光に変化してしまうのは、EO結晶7内でSとP偏光の間に位相差が生じるからである。この位相差は、EO結晶7の複屈折率、長さ、波長が既知であれば求めることができる。したがって、結晶内で生じた位相差を相殺するような補償板23をPBS9の手前に配置することにより、PBS9に入射する光の偏光状態を円偏光に保つことができる。

【0038】

したがって、電気光学結晶7からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶7への光ビームを円偏光にでき、その光が電気光学結晶7内で楕円偏光になったとしても、補償板23により、電気光学結晶7から出射された楕円偏光の光ビームを円偏光にすることができる。

【0039】

【第2の実施の形態】

図2は、第2の実施の形態における電界センサの構成図である。

【0040】

第2の実施の形態における電界センサは、図8の電界センサに加えて、出力信号16に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号を生成するフィードバック回路25を設け、さらに、EO結晶7には、制御信号付与手段たる制御電極29と制御グラウンド電極31とを設け、この制御電極29に制御信号27を与えるようにしたものである。

【0041】

このように、EO結晶7に制御信号27による電圧を印加することによって、その複屈

折率を変化させ、SとP偏光の間に生じる位相差を差し引きゼロにすることが可能である。そのため、PBS9に円偏光を入射させることができる。

【0042】

なお、フィードバック回路25は、制御信号を、出力信号16から生成するのではなく、差動アンプ15の入力信号から生成するようにしている。

【0043】

図3(a)は、スイッチトキャパシタ積分器を用いたフィードバック回路25の回路図であり、図3(b)はフィードバック回路25を駆動するドライブ信号の波形図である。

【0044】

図3(a)に示すように、フィードバック回路25は、PD11に接続されたバッファアンプ2501と、PD13に接続されたバッファアンプ2503と、バッファアンプ2501の出力に接続されたローパスフィルタ(以下、LPFという)2505と、バッファアンプ2503の出力に接続されたLPF2507とを備える。

【0045】

また、連動する2つの開閉器からなりその一方の開閉器の一端がLPF2505に接続され、他方の開閉器の一端がLPF2507に接続されたスイッチ2509と、このスイッチ2509の一方の開閉器の他端と他方の開閉器の他端の間に接続されたコンデンサ2511と、連動する2つの開閉器からなりその開閉器の一端と他方の開閉器の一端が前記コンデンサ2511に接続されたスイッチ2513と、差動アンプであって、スイッチ2513の一方の開閉器の他端がマイナス入力端子に他方の開閉器の他端がプラス入力端子に接続され、このプラス入力端子が電圧Vbでバイアスされた差動アンプ2515と、この差動アンプ2515のマイナス入力端子と出力端子との間に接続されたコンデンサ2517と、差動アンプ2515の出力端子と制御電極29に接続されたバッファアンプ2519とから構成されている。なお、(コンデンサ2511の容量) << (コンデンサ2517の容量)である。また、差動アンプ295が正負電源タイプの場合は、そのプラス入力端子を接地して、すなわちバイアスをかけずに使用してもよい。

【0046】

スイッチ2509に与えられるドライブ信号D1とスイッチ2513に与えられるドライブ信号D2は、スイッチ2509とスイッチ2513とが同時に閉じることがないように、また交互に閉じるように印加されるので、コンデンサ2511が充電された後にその電荷がコンデンサ2517に転送される。そのため、差動アンプ2515は、LPF2505とLPF2507の出力差(厳密には出力差の積分値)に応じた大きさの電圧を出力し、これがバッファアンプ2519を通過後、制御信号27として制御電極29に与えられる。すなわち、制御信号27は、出力信号16の直流成分に応じた電圧を有する信号になり、制御電極29に与えられる。

【0047】

図4は、第2の実施の形態における電極の配置図である。

【0048】

図4(a)や図4(b)に示すように、信号電極19とグラウンド電極21とをEO結晶7を挟むようにして設け、同じように、制御電極29と制御グラウンド電極31とをEO結晶7を挟むようにして設ければ、EO結晶7に均一に電界が結合されるので好ましい。なお、図4(c)に示すように、各電極をEO結晶7の片側に設ければ、EO結晶7が薄い場合に電極を実装しやすくなる。また、図4(d)のように、グラウンド電極を分離してもよい。また、図4(e)のようにグラウンド電極21と制御グラウンド電極31とを共通にすれば電界センサを簡素に構成できる。

【0049】

かかる構成を有する第2の実施の形態における電界センサでは、電気光学結晶7からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶7への光ビームを円偏光にでき、その光が電気光学結晶7内で横円偏光になったとしても、フィードバック回路25が、出力信号16に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号27を生成し、制御信号2

7が制御電極29に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号17による分の電界だけでなく、制御信号27による分の電界が結合されるので、PBS9に入射する光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。

【0050】

[第3の実施の形態]

図5は、第3の実施の形態における電界センサの構成図である。

【0051】

ここでは、第2の実施の形態の電界センサとの差異を説明し、同一の構成については説明を省略する。

【0052】

第3の実施の形態の電界センサは、EO結晶7に制御電極29と制御グラウンド電極31が設けられておらず、電極としては、信号電極19とグラウンド電極21だけが設けられている。また、第3の実施の形態の電界センサは、被測定信号17に対し制御信号27を加算する加算器33を有し、加算後の被測定信号17Aが信号電極19に与えられる。加算器33は制御信号付与手段に相当する。図6は、加算器33の回路図である。

【0053】

加算器33は、コンデンサ331とコイル332とを直列接続して構成され、コイル332に接続されていない方の、コンデンサ331の端子に被測定信号17が与えられ、コンデンサ331に接続されていない方の、コイル332の端子に制御信号27が与えられ、コンデンサ331とコイル332との接続点の信号を被測定信号17AとしてEO結晶7に与えられる。コンデンサ331は高周信号である被測定信号17を通過させるが低周波信号である制御信号27を遮断する。一方、コイル332は低周波信号である制御信号27を通過させるが高周波信号である被測定信号17を遮断する。したがって、被測定信号17に対し制御信号27を加算することができる。なお、加算器33は、デジタル回路により構成してもよい。

【0054】

かかる構成を有する第3の実施の形態の電界センサでは、電気光学結晶7からの反射光が光源に戻ることを防止することで電気光学結晶7への光ビームを円偏光にでき、その光が電気光学結晶7内で橢円偏光になったとしても、フィードバック回路25が、出力信号16に含まれる直流成分に応じた電圧を有する制御信号27を生成し、制御信号27が加算器33に与えられると、EO結晶7内には、被測定信号17による分の電界だけでなく、制御信号27による分の電界が結合され、後者の電界により光ビームの偏光状態を円偏光に補正することができる。また、光強度雑音を十分に低減することができる。また、制御電極と制御グラウンド電極が不要なので簡素な構成になる。

【0055】

以上に述べた実施の形態は、EO結晶端面で生じた反射光を除去するための構成を有する場合の偏光状態の補正を可能とするものである。

【0056】

ところが、反射光は、EO結晶端面はもとより、PDの受光面でも発生しやすい。そこで、PBSと2つのPDの間にそれぞれ1/4波長板（以下、QWPという）を配置することにより、PDの受光面で発生した反射光を除去することができる。以下、かかる構成を有する第4の実施の形態を説明する。

【0057】

[第4の実施の形態]

図7は、第4の実施の形態における電界センサの構成図である。

【0058】

ここでは、第1の実施の形態の電界センサとの差異を説明し、同一の構成については説明を省略する。

【0059】

第4の実施の形態における電界センサは、PBS9とPD11との間にQWP141を備え、またPBS9とPD13との間にQWP142に備えている。

【0060】

かかる構成を有する第4の実施の形態の電界センサでは、PBS9を反射したS偏光はQWP141によって円偏光に変換され、その一部はPD11で反射される。しかし、その反射した円偏光は再びQWP141を透過することによりP偏光に変換されるので、PBS9を透過する。すなわち、光ビームが光源1に戻る不都合を防止できる。

【0061】

また、PBS9を透過したP偏光はQWP142によって円偏光に変換され、その一部はPD13で反射される。しかし、その反射した円偏光は再びQWP142を透過することによりS偏光に変換され、PBS9で反射される。すなわち、光ビームが光源1に戻る不都合を防止できる。

【0062】

なお、QWP141及び142を第2の実施の形態または第3の実施の形態に適用しても勿論よい。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】第1の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図2】第2の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図3】スイッチトキャパシタ積分器を用いたフィードバック回路25の回路図とドライブ信号の波形図である。

【図4】第2の実施の形態における電極の配置図である。

【図5】第3の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図6】加算器33の回路図である。

【図7】第4の実施の形態における電界センサの構成図である。

【図8】従来の、戻り光を防止する手段を備えた電界センサの構成図である。

【図9】PBS9に入射する光ビームの偏光状態とそれに対応する電気信号の関係を示す図である。

【符号の説明】

【0064】

1…光源

3, 9…PBS

4, 141, 142…QWP

5…補償板

7…EO結晶

11, 13…PD

15, 295…差動アンプ

16…出力信号

17…被測定信号

17A…被制御信号（制御信号27加算後）

19…信号電極

21…グラウンド電極

23…補償板

25…フィードバック回路

27…制御信号

29…制御電極

31…制御グラウンド電極

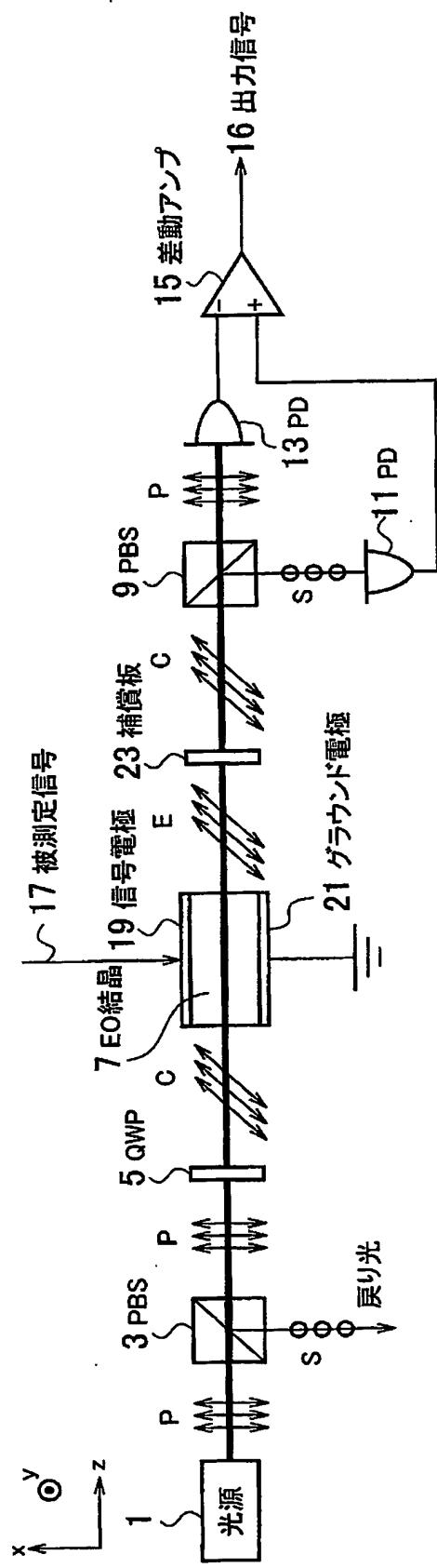
33…加算器

331, 2511, 2517…コンデンサ

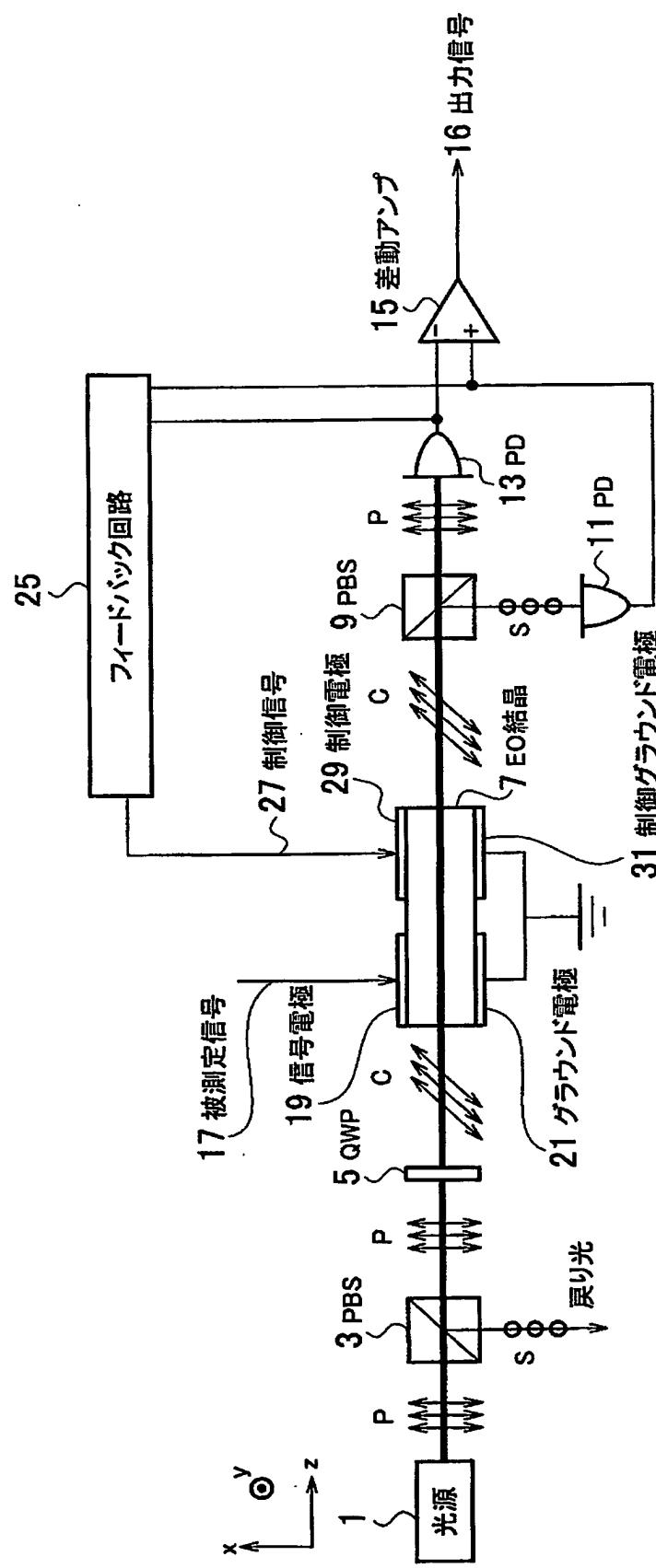
332…コイル

2501, 2503 … バッファアンプ
2505, 2507 … LPF
2509, 2513 … スイッチ
2519 … バッファアンプ

【書類名】 図面
【図1】

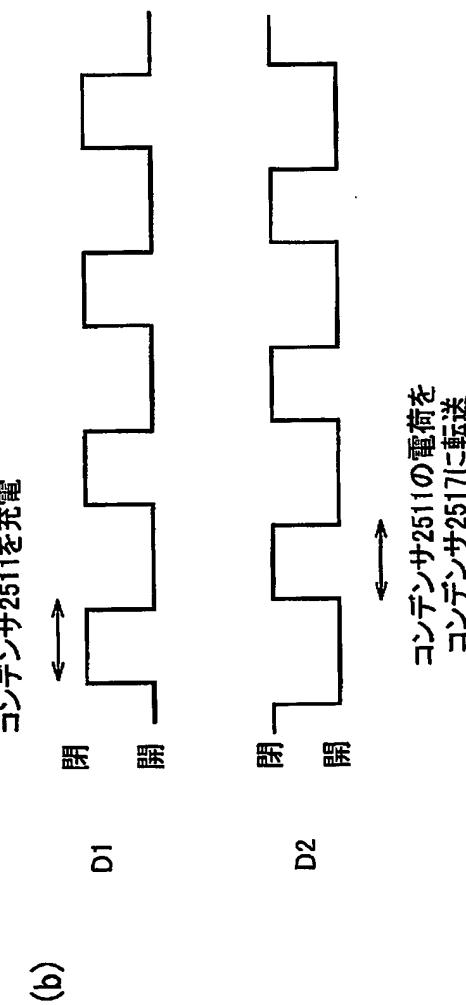
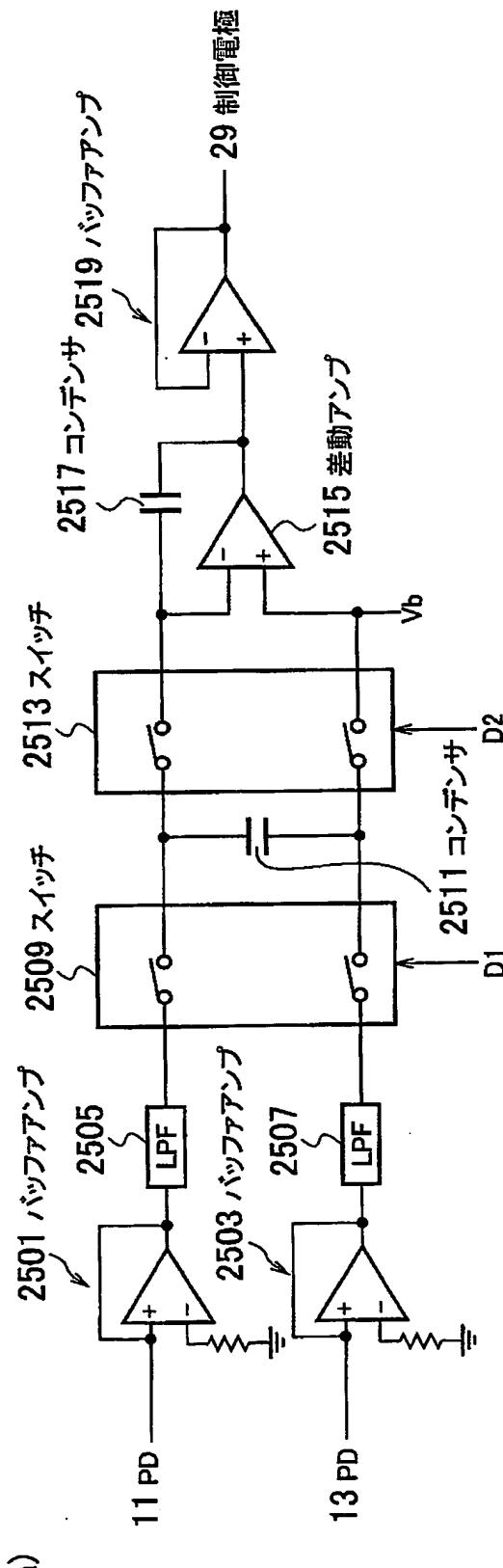


【図2】

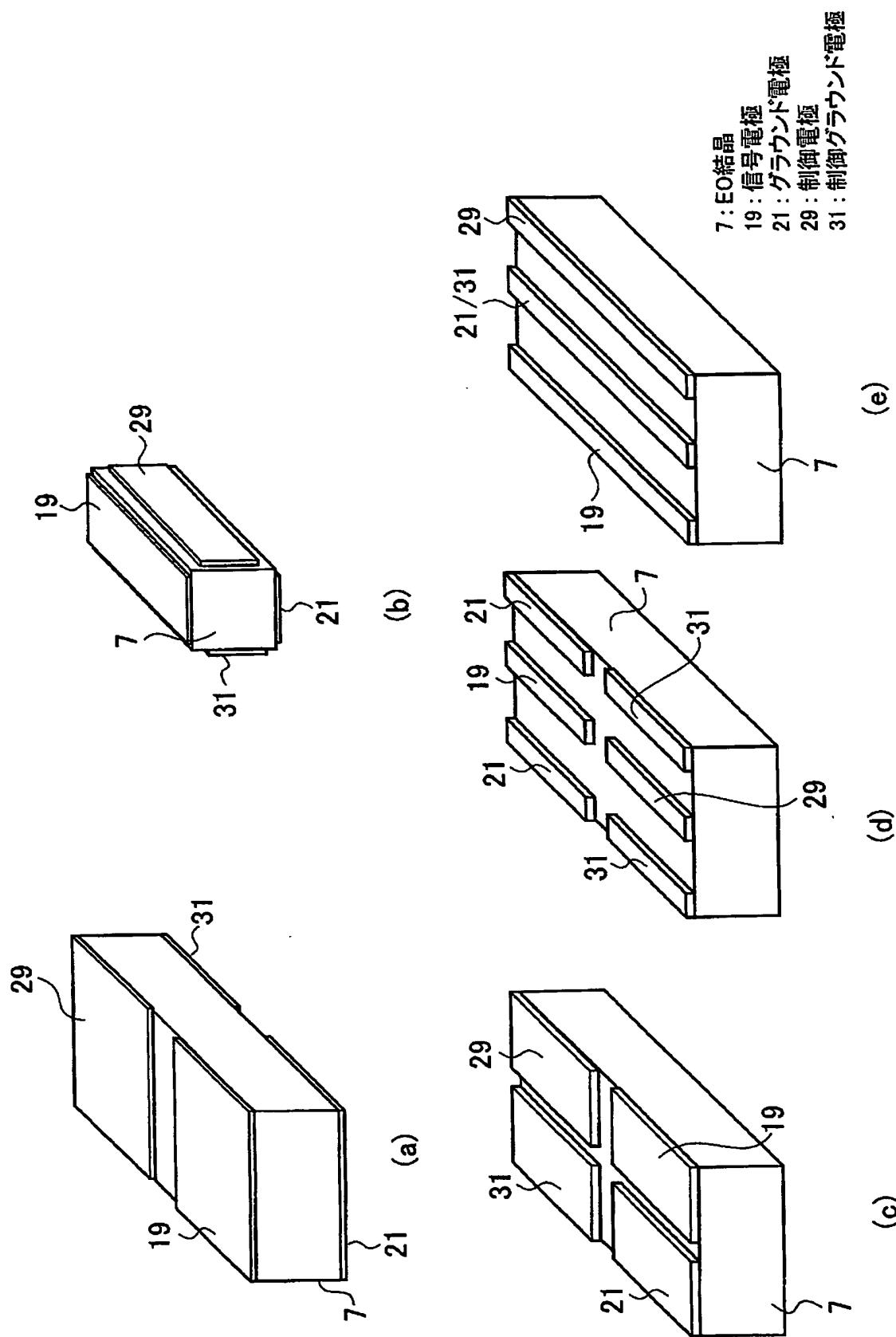


【図3】

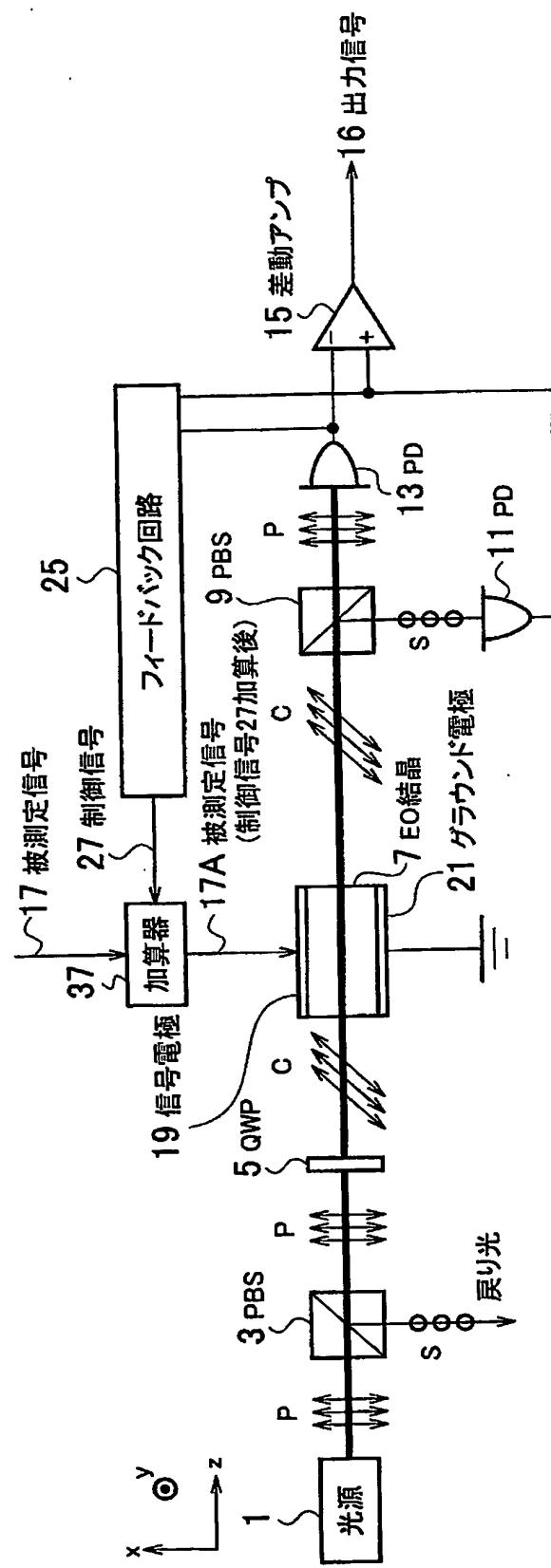
25 フィードバック回路



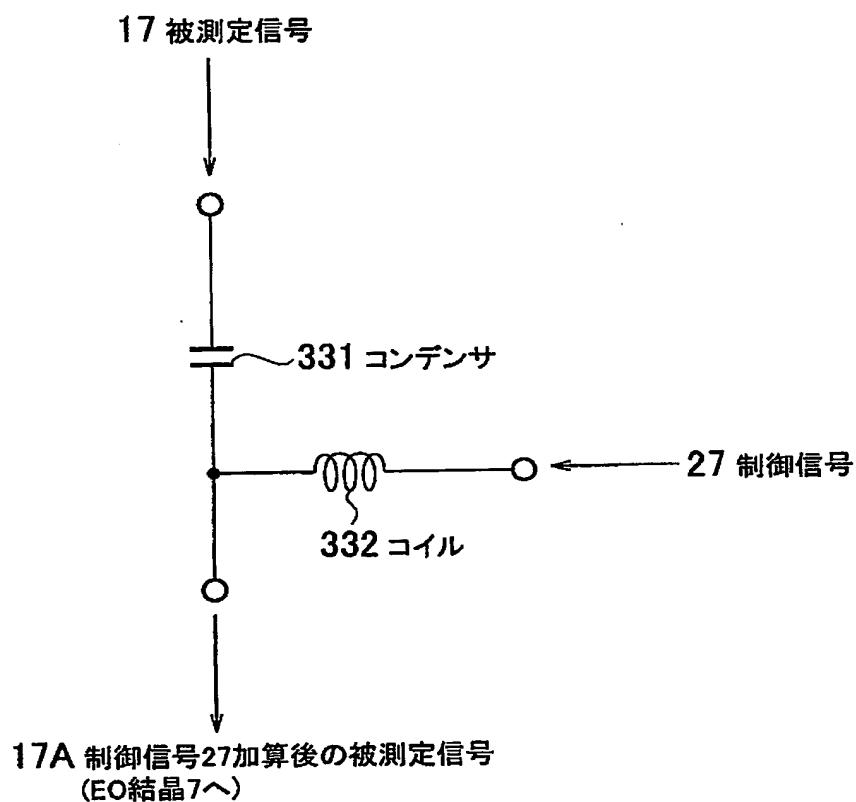
【図4】



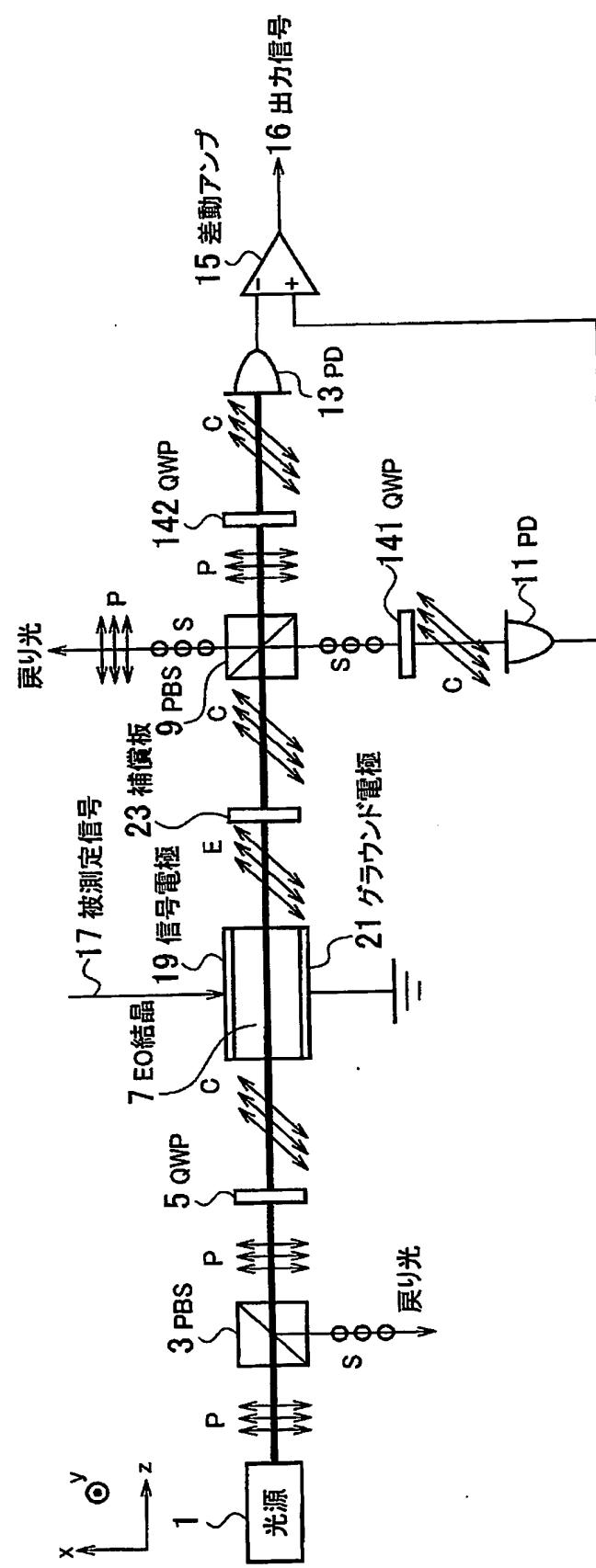
【図5】



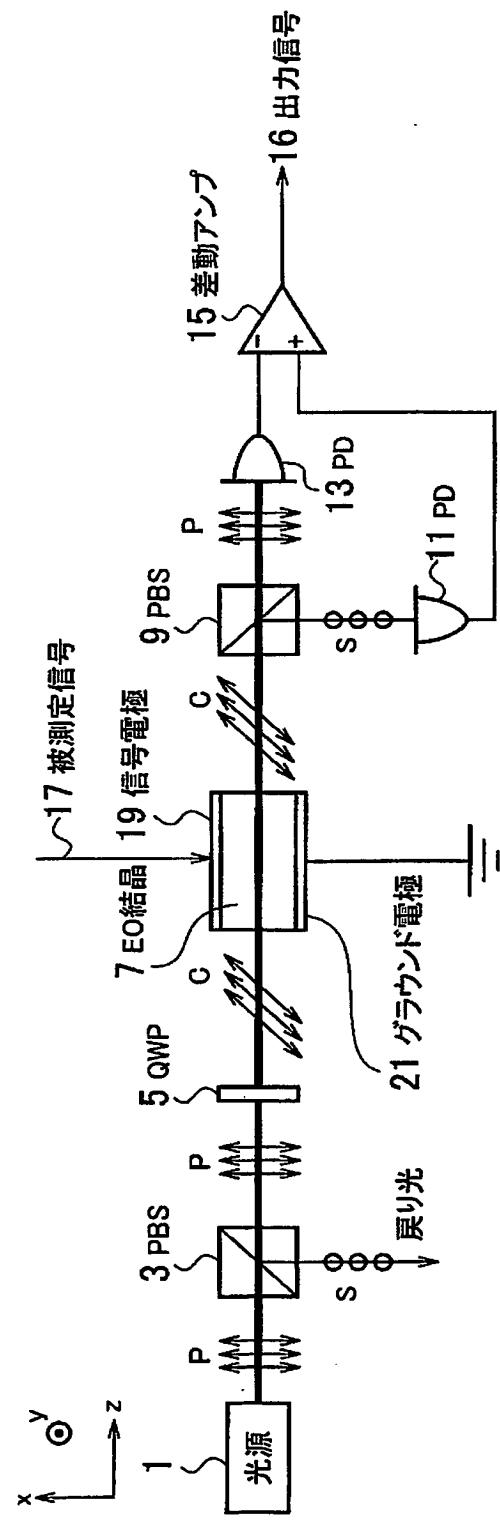
【図6】

33 加算器

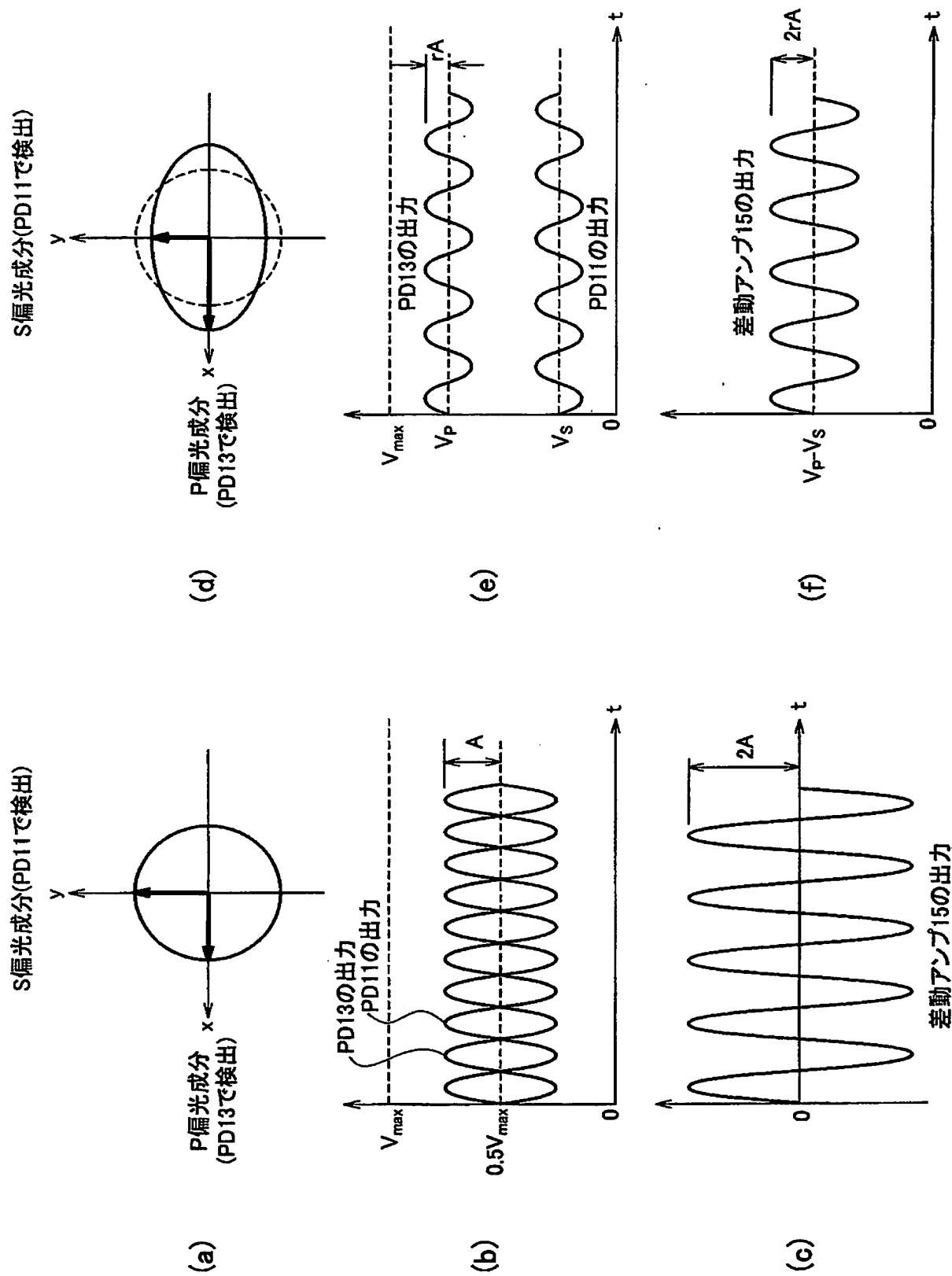
【図7】



【図8】



【図9】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 交流電界が印加されている電気光学結晶に光源から光を入射させ、電気光学結晶から出射された光の偏光状態を円偏光に保ったまま S 偏光成分と P 偏光成分とに分離し、各偏光成分の強度の差分に応じた交流信号を得るとともに、電気光学結晶からの反射光が光源に戻ることを防止する手段を備えた電界センサを提供する。

【解決手段】 EO結晶 7 から出射された光ビームが分離されるまでの光ビームの進路上に光の偏光状態を変化させる補償板 5 を備えたので、この補償板 5 により、EO結晶 7 から出射された橢円偏光の光を円偏光にすることがきる。

【選択図】図 1

特願 2003-380432

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社

09.8.2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 30 SEP 2004

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2004年 3月30日
Date of Application:

出願番号 特願2004-100254
Application Number:

[ST. 10/C] : [JP2004-100254]

出願人 日本電信電話株式会社
Applicant(s):

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (a) OR (b)

2004年 9月17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTH157443
【提出日】 平成16年 3月30日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 29/08
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 佐々木 愛一郎
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【氏名】 品川 満
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100083806
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 三好 秀和
【選任した代理人】
 【識別番号】 100068342
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 三好 保男
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 001982
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9701396

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路とを備える電界センサであって、

前記検出回路は、

任意の偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する橢円偏光を直線偏光に変換する $1/4$ 波長板と、該 $1/4$ 波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する $1/2$ 波長板と、該 $1/2$ 波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備え、

前記 $1/4$ 波長板の電気的主軸は前記電気光学結晶から出射した橢円偏光の電気的主軸と一致し、

前記電気信号を入力してないときの、前記 $1/4$ 波長板からの直線偏光の偏波面が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を $45^\circ - \phi_0$ としたときに、

前記 $1/2$ 波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度が

【数1】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

(ただし、nは整数)

であることを特徴とする電界センサ。

【請求項 2】

電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路とを備える電界センサであって、

前記検出回路は、

直線偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する橢円偏光を直線偏光に変換する $1/4$ 波長板と、該 $1/4$ 波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する $1/2$ 波長板と、該 $1/2$ 波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備え、

前記電気光学結晶に入射した直線偏光の偏波面が当該電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度は 45° であり、

前記 $1/4$ 波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度は 45° であり、

前記電気信号を入力してないときの、前記電気光学結晶から出射した橢円偏光に含まれる位相差を ϕ_0 としたときに、

前記 $1/2$ 波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度が

【数2】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

(ただし、nは整数)

であることを特徴とする電界センサ。

【請求項3】

電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路とを備える電界センサであって、

前記検出回路は、

円偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備え、

前記1/4波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度は45°であり、

前記電気信号を入力しないときの、前記電気光学結晶から出射した楕円偏光に含まれる位相差を ϕ_0 としたときに、

前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度が

【数3】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

(ただし、nは整数)

であることを特徴とする電界センサ。

【請求項4】

電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路を備え、該検出回路が、任意の偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備える電界センサの調整方法であって、

前記1/4波長板の電気的主軸を前記電気光学結晶から出射した楕円偏光の電気的主軸と一致させ、

前記電気信号を入力しないときの、前記1/4波長板からの直線偏光の偏波面が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°- ϕ_0 としたときに、

前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を

【数4】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

(ただし、nは整数)

にすることを特徴とする電界センサの調整方法。

【請求項5】

電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路を備え、該検出回路が、直線偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備える電界センサの調整方法であって、

前記電気光学結晶に入射した直線偏光が偏波面を当該電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°とし、

前記1/4波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°とし、

前記電気信号を入力してないときの、前記楕円偏光に含まれる位相差を ϕ_0 としたときに、

前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を

【数5】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

(ただし、nは整数)

にすることを特徴とする電界センサの調整方法。

【請求項6】

電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路を備え、該検出回路が、円偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備える電界センサの調整方法であって、

前記1/4波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°とし、

前記電気信号を入力してないときの、前記楕円偏光に含まれる位相差を ϕ_0 としたときに、

前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を

【数6】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

(ただし、nは整数)

にすることを特徴とする電界センサの調整方法。

【請求項7】

前記 ϕ_0 を、

【数7】

$$\phi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) L$$

(ただし、 n_o は、前記電界光学結晶の常光に対する屈折率、 n_e 、は前記電気光学結晶の異常光に対する屈折率、 λ は、光の真空中における波長、Lは前記電気光学結晶の光の方向における長さ)

により決定することを特徴とする請求項4ないし6のいずれかに記載の電界センサの調整方法。

【請求項8】

前記 ϕ_0 を測定により決定することを特徴とする請求項4ないし6のいずれかに記載の電界センサの調整方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】電界センサとその調整方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気光学結晶の自然複屈折率による感度低下の補償が可能な電界センサとその調整方法に関する。

【背景技術】

【0002】

電気光学 (Electro-optic; EO) 変調素子は、光通信に用いられるだけではなく、電界もしくは電気信号を検出するためのセンサとして幅広く用いられている。EO変調素子を用いた電界センサでは、EO結晶に入射した光の偏光状態を被測定電界によって変調し、その偏光変調光を強度変調光に変換し、強度変化を検出することによって被測定電界を間接的に検出するものである。

【0003】

従来の電界センサでは、自然複屈折性を有さないEO結晶が使われることが多かった。このようなEO結晶を変調素子として利用すると、被測定電界がゼロの時には、EO結晶を透過しても光の偏光状態は変化しないので、かかるEO結晶は電界センサへの使用に適している。

【0004】

図6は、従来の電界センサの構成を示す図である。

【0005】

電極11と電極12との間に電圧を印加するとEO結晶10に電界が発生して、当該EO結晶の複屈折率が変化する。光源LSから出射した直線偏光が、1/4波長板QWPで円偏光に変換されてEO結晶10に入射すると、EO結晶10からは橢円偏光が射出する。この橢円偏光は、偏光ビームスプリッタ(Polarizing-beam splitter) PBSに入射し、このPBSで2つの直線偏光(SおよびP偏光)に分離される。このSおよびP偏光は2つの光検出器(Photodetector) PD1、PD2によって検出され、それぞれの強度に比例した電気信号が差動増幅器(差動アンプ) DAに入力する。この差動アンプDAの出力電気信号は、EO結晶10内の電界振幅に比例するので、差動アンプDAの出力電気信号を測定することにより、EO結晶10内の電界振幅を検出することが可能となる。また、EO結晶10内の電界振幅は、電極11および12への印加電圧に比例しているので、この差動アンプDAの出力電気信号を検出することにより、この印加電圧を検出ができる。

【0006】

図7(a)～(c)は、EO結晶10が自然複屈折率を有さない場合の波形図であり、図7(a)はPD1の出力電気信号、図7(b)はPD2の出力電気信号、図7(c)はDAの出力電気信号を示すものである。

【0007】

EO結晶10が自然複屈折率を有さない場合は、EO結晶中の印加電界がゼロの時に光検出器PD1とPD2に入射する光量は等しくなるので、直流成分のない理想的検出結果が得られる。

【特許文献1】特開2003-98205号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、大きなEO効果が得られる電気光学結晶には自然複屈折率を有するものが多い。

【0009】

図7(d)～(f)は、図6の電界センサのEO結晶10が自然複屈折率を有する場合の波形図であり、図7(d)はPD1の出力電気信号、図7(e)はPD2の出力電気信号

号、図7 (f) はDAの出力電気信号を示すものである。

【0010】

電界センサに自然複屈折率を有するEO結晶10を利用すると、PD1とPD2に入射する光量のバランスが崩れるので、信号振幅が低下し、雑音も増加するため、検出感度が著しく低下する。DAの出力には直流成分が含まれ、この直流成分は測定の安定性を低下させる。また、信号振幅も減少するので感度が低下する。

【0011】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、電気光学結晶の自然複屈折率による感度低下の補償が可能な電界センサとその調整方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の課題を解決するために、請求項1の本発明は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路とを備える電界センサであって、前記検出回路は、任意の偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備え、前記1/4波長板の電気的主軸は前記電気光学結晶から出射した楕円偏光の電気的主軸と一致し、前記電気信号を入力してないときの、前記1/4波長板からの直線偏光の偏波面が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°-φ₀としたときに、前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度が、

【数8】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0013】

(ただし、nは整数) であることを特徴とする電界センサをもって解決手段とする。

【0014】

請求項2の本発明は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路とを備える電界センサであって、前記検出回路は、直線偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備え、前記電気光学結晶に入射した直線偏光の偏波面が当該電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度は45°であり、前記1/4波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度は45°であり、前記電気信号を入力してないときの、前記電気光学結晶から出射した楕円偏光に含まれる位相差をφ₀としたときに、前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度が、

【数9】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0015】

(ただし、nは整数) あることを特徴とする電界センサをもって解決手段とする。

【0016】

請求項3の本発明は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路とを備える電界センサであって、前記検出回路は、円偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備え、前記1/4波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度は45°であり、前記電気信号を入力してないときの、前記電気光学結晶から出射した楕円偏光に含まれる位相差を ϕ_0 としたときに、前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度が、

【数10】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0017】

(ただし、nは整数) あることを特徴とする電界センサをもって解決手段とする。

【0018】

請求項4の本発明は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路を備え、該検出回路が、任意の偏光を入射された前記電気光学結晶から出射する楕円偏光を直線偏光に変換する1/4波長板と、該1/4波長板から出射する直線偏光の偏波面の角度を調整する1/2波長板と、該1/2波長板から出射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動増幅器とを備える電界センサの調整方法であって、前記1/4波長板の電気的主軸を前記電気光学結晶から出射した楕円偏光の電気的主軸と一致させ、前記電気信号を入力してないときの、前記1/4波長板からの直線偏光の偏波面が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°- ϕ_0 としたときに、前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を、

【数11】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0019】

(ただし、nは整数) にすることを特徴とする電界センサの調整方法をもって解決手段とする。

【0020】

請求項5の本発明は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路を備え、該検出回路が、直線偏光を入射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を增幅する差動増幅器とを備える電界センサの調整方法であって、前記電気光学結晶に入射した直線偏光が偏波面を当該電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°とし、前記1/4波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°とし、前記電気信号を入力していないときの、前記楕円偏光に含まれる位相差をφ₀としたときに、前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を、

【数12】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0021】

(ただし、nは整数) にすることを特徴とする電界センサの調整方法をもって解決手段とする。

【0022】

請求項6の本発明は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶を挟んで設けられた一対の電極と、該電極に電気信号を入力したときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させるための光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による位相変化に応じた電気信号を出力する検出回路を備え、該検出回路が、円偏光を入射する直線偏光成分をP偏光成分とS偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を增幅する差動増幅器とを備える電界センサの調整方法であって、前記1/4波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を45°とし、前記電気信号を入力していないときの、前記楕円偏光に含まれる位相差をφ₀としたときに、前記1/2波長板の電気的主軸が前記電気光学結晶の電気的主軸に対して有する角度を、

【数13】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0023】

(ただし、nは整数) にすることを特徴とする電界センサの調整方法をもって解決手段とする。

【0024】

請求項 7 の本発明は、前記 φ₀ を、

【数14】

$$\phi_o = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) L$$

[0025]

〔0025〕
 (ただし、 n_0 は、前記電界光学結晶の常光に対する屈折率、 n_e 、は前記電気光学結晶の異常光に対する屈折率、 λ は、光の真空中における波長、 L は前記電気光学結晶の光の方向における長さ) により決定することを特徴とする請求項 4 ないし 6 のいずれかに記載の電界センサの調整方法をもって解決手段とする。

【0026】

請求項 8 の本発明は、前記 ϕ_0 を測定により決定することを特徴とする請求項 4 ないし 6 のいずれかに記載の電界センサの調整方法をもって解決手段とする。

【発明の効果】

[00271]

本発明の電界センサによれば、電気光学結晶の自然複屈折率による感度低下を補償することができる。

【黎明を実施するための最良の形態】

[0028]

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。ここでは、光の進行方向を z 軸、鉛直上向きを y 軸、水平方向を x 軸と定義する。

[0029]

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る電界センサの構成を示す図である。

図1は、平成10年3月

第1の実施の形態に係る電界センサは、電界の結合で複屈折率が変化するEO結晶10と、該EO結晶10に電界を結合させるために当該EO結晶10を挟んで設けられた一对の電極11、12と、EO結晶10に光を入射させる光源LSと、EO結晶10から出射する橢円偏光を直線偏光にする1/4波長板(Quater-wave plate)QWP1と、当該直線偏光の位相を調整する1/2波長板(Half-wave plate)HWPと、該1/2波長板HWPから出射する直線偏光をP偏光成分とS偏光偏光成分に分離する偏光ビームスプリッタPBSと、当該各偏光成分を電気信号に変換する2つの光検出器PD1、PD2と、該各光検出器で得られた各電気信号の差分を増幅する差動アンプ(増幅器)DAとを備える。

○ 100011

【0031】 第1の実施の形態に係る電界センサでは、光源LSから出射した直線偏光がEO結晶10に入射する。このとき、A点における直線偏光の偏波面はEO結晶10の電気的主軸に対して4.5°をなすように設定されている。

[0032]

EO結晶10は自然複屈折性を有しており、EO結晶10に電界が印加されない場合において、B点における光は梢円偏光になっている。QWP1の電気的主軸は、EO結晶1の電気的主軸に対して45°をなすように設定されている。B点における梢円偏光は、このように設定されたQWP1を透過することによって、直線偏光に変換される。

[0033]

したがって C 点における光は直線偏光になっているが、一般にその偏波面と EO 結晶 1 の電気的主軸がなす角度は、A 点におけるその角度とは異なる。C 点における直線偏光は、適当な角度に配置された HWP によって、PBS に対する P 偏光成分と S 偏光成分を 1 : 1 の割合で含むような直線偏光に変換される。ここで、P 偏光とは PBS を透過する直線偏光であり、S 偏光とは PBS で反射する直線偏光である。PBS の配置の仕方は任意であるが、P および S 偏光を水平面 (x - z 面) 内に分離するように PBS を配置する

のが普通であるので、本実施の形態においてもそのような配置を採用したものとして説明を続ける。

【0034】

P偏光の偏波面はx-z平面に一致し、S偏光の偏波面はy-z平面に一致している。したがってD点における直線偏光の偏波面は、x-z平面と45°の角度をなしている。

【0035】

D点における直線偏光に含まれるPおよびS成分の比は1:1であるので、PD1およびPD2で検出される光量は等しい。PD1および2は受光強度に比例したレベルの電気信号を出力するので、差動アンプDAが outputする電気信号のレベルはゼロである。EO結晶10に電界が印加された場合には、D点における直線偏光の偏波面がx-z平面となす角度が45°から δ だけずれる。 δ はEO結晶10中の電界振幅Aに比例する。したがって電界が印加されるとPD1および2が検出する光量にアンバランスが生じ、差動アンプDAは電界Aに比例したレベルの電気信号を出力する。したがって、差動アンプDAの出力電気信号を検出することにより、EO結晶10に印加されている電界を検出することが可能になる。EO結晶10中の電界は、EO結晶10に付随した電極間の電位差に比例するので、差動アンプDAの出力電気信号を検出することは、電極間電位差を検出することと等価である。

【0036】

図2は、本発明の第1の実施の形態に係る電界センサの偏光状態を示す図である。ここでは、光はz軸の正方向(紙面の裏から表)に向かって進むように記載している。また、EO結晶10の電気的主軸の1つであるs1ow軸とfast軸をそれぞれx軸(水平方向)とy軸(鉛直方向)に一致させている。

【0037】

図2(a)は、A点における光の偏光状態を表したものであり、直線偏光の偏波面はx軸(EO結晶10のs1ow軸)に対して45°の角度をなしている。

【0038】

図2(b)は、B点における光の偏光状態を表したものであり、EO結晶10の複屈折性により橢円偏光となっている。またこの橢円の主軸はx軸に対して45°の角度をなしている。

【0039】

図2(c)は、C点における光の偏光状態とQWP1の電気的主軸の関係を表したものである。sおよびf軸は、それぞれQWP1のs1owおよびfast軸を表しており、s軸はx軸に対して45°の角度をなしている。点Bにおける橢円偏光は、直線偏光に変換される。EO結晶10の自然複屈折性によって光の独立な偏光成分間に生じた位相変化量(EO結晶10から出射する橢円偏光に含まれる位相差)を ϕ_0 とすると、その直線偏光の偏波面がx軸となす角度は、45°- ϕ_0 である。

【0040】

図2(d)は、D点における光の偏光状態とHWPの電気的主軸の関係を表したものである。sおよびf軸は、それぞれHWPのs1owおよびfast軸を表している。点線は、C点における光の偏光状態を表している。HWPのs1ow軸(s軸)がx軸となす角度を、次式のように設定すると、直線偏光の偏波面とx軸のなす角度を45°に補正できる。このとき、D点の直線偏光の偏波面とy軸(EO結晶10のfast軸)のなす角度も同時に45°に補正できるのは勿論である。

【数15】

$$45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0041】

また、 ϕ_0 の値は、次式もしくは測定によって決定することが可能である。

【数16】

$$\phi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} (n_o - n_e) L$$

【0042】

ここで λ は結晶に入射する光の（真空中における）波長、 L は z 方向に関する結晶の長さ、 n_o と n_e はそれぞれ常光と異常光に対する EO 結晶 10 の屈折率である。

【0043】

かかる補正によって、 D 点においては、 P および S 偏光成分の強度が等しくなっているために、差動アンプ DA の出力電気信号のレベルはゼロとなる。

【0044】

図 2 (e) は、 EO 結晶 10 に被測定電界 $A(t)$ が印加された場合における D 点の偏光状態の変化を表したものである。例として、 $A(t) = A_0 \sin \omega t$ という変化をする交流電界が印加された場合を説明する。この場合、 EO 結晶 10 内で光の独立な偏光成分間に生じる位相差 $\phi(t)$ は、 $\phi(t) = \phi_0 + \delta_0 \sin \omega t$ という形で表される。したがって D 点では、直線偏光の偏波面と x 軸がなす角度 $\theta(t)$ は $45^\circ \pm \delta_0$ の間を角周波数 ω で振動することになる。数式で表すと、 $\theta(t) = 45^\circ + \delta_0 \sin \omega t$ である。

【0045】

図 3 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る電界センサの構成を示す図である。

【0046】

第 1 の実施の形態の電界センサとの違いは、光源 LS と EO 結晶 10 の間に $1/4$ 波長板 QWP 2 が挿入されていることである。

【0047】

光源 LS を出射した直線偏光は、この QWP 2 によって円偏光に変換される。したがって、 EO 結晶 10 には円偏光が入射する。第 1 の実施の形態のように直線偏光を EO 結晶 10 に入射させる場合、 EO 結晶 10 内で効率よく偏光変調を行うためには、偏波面を電気的主軸に対して 45° に設定する必要がある。それに対して円偏光を用いた場合には、偏波面と電気的主軸とに角度の設定を行う必要が無くなるので、本発明の電界センサを製造する際の工程が簡素化される。

【0048】

図 4 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る電界センサの偏光状態を示す図である。なお、図 4 (a) ~ (e) は、図 2 (a) ~ (e) に順番どおりに対応する。

【0049】

ここでは、右回り円偏光を結晶に入射した場合について示している。第 2 の実施の形態に係る電界センサの偏光状態は、図 2 における ϕ_0 を $\phi_0 + 90^\circ$ に置き換えた場合と同じになる。

【0050】

すなわち、 HWP の slow 軸 (s 軸) が x 軸となす角度を、次式のように設定すると直線偏光の偏波面と x 軸のなす角度を 45° に補正できる。

【数17】

$$-\frac{\phi_0}{2}$$

【0051】

また図示しないが、左回り円偏光を入射した場合には、 ϕ_0 を $\phi_0 - 90^\circ$ に置き換えた場合と同じになる。

【0052】

さて、これまで説明した HWP の角度調整に鑑みると、 QWP 1 からの直線偏光の偏波出証特 2004-3084323

面がy軸 (EO結晶10のfast軸) に対して有する角度を $45^\circ - \phi_0$ とした場合であっても、D点の偏波面とEO結晶10の電気的主軸とのなす角度を 45° に補正できる。また、HWPのs軸 (またはf軸) がx軸 (またはy軸) に対して有する角度を、

【数18】

$$n \cdot 45^\circ - \frac{\phi_0}{2}$$

【0053】

(ただし、nは整数) とした場合であっても、D点の偏波面とEO結晶10の電気的主軸とのなす角度を 45° に補正できる。

【0054】

図5は、第1および第2の実施の形態の電界センサの波形図である。

【0055】

図5 (a) は、被測定電界の波形 $A(t) = A_0 \sin \omega t$ 、図5 (b) は、被測定電界および該電界による複屈折率の変化に起因して光の独立な偏光成分間に生じる位相差 $\delta(t) = \delta_0 \sin \omega t$ を表す。当然のことながら、 $A(t)$ と $\delta(t)$ の波形は同じである。図5 (c) は $\delta_0 \sin \omega t$ を表す。図1や図3のD点における直線偏光の偏波面の、x軸に対する角度 $\theta(t) = 45^\circ + \delta_0 \sin \omega t$ を表す。この偏波面は $\theta(t) = 45^\circ$ のときを中心として正弦波状に振動する。図5 (d) および図5 (e) は、それぞれPD1および2の出力電気信号の波形 ($V_1(t)$ および $V_2(t)$) を表している。PD1、PD2の出力電気信号のレベルは当該PDに入射する光強度に比例すること、さらにPD1およびPD2にはそれぞれPおよびS偏光が入射することを考慮すると、以下の関係が成立する。ただし、最後の式変形では $\delta_0 << 90^\circ$ という条件を用いた。被測定電界に起因する位相変化は一般に極めて小さいので、この条件は十分実用的である。

【0056】

$$V_1(t) \propto \cos^2 \theta(t) = 0.5 \{1 - \sin^2(\delta_0 \sin \omega t)\} \approx 0.5 - \delta_0 \sin \omega t$$

$$V_2(t) \propto \sin^2 \theta(t) = 0.5 \{1 + \sin^2(\delta_0 \sin \omega t)\} \approx 0.5 + \delta_0 \sin \omega t$$

したがって $V_1(t)$ および $V_2(t)$ は、それぞれ図5 (d) および図5 (e) に示した通り、同一の直流成分を有し、互いに逆相で変動する。図5 (f) は差動アンプDAの出力電気信号 $V_{differential}(t) = V_2(t) - V_1(t) \propto 2 \delta_0 \sin \omega t$ の波形を示している。差動演算を行うことにより、直流成分を除去し、さらに振幅を2倍に増幅することができる。 $V_{differential}(t)$ の波形は被測定電界 $A(t)$ の波形と同じであるので、 $V_{differential}(t)$ を検出することにより、 $A(t)$ に関する情報を抽出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る電界センサの構成を示す図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る電界センサの偏光状態を示す図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態に係る電界センサの構成を示す図である。

【図4】本発明の第2の実施の形態に係る電界センサの偏光状態を示す図である。

【図5】第1または第2の実施の形態の電界センサのEO結晶10が自然複屈折率を有する場合の波形図である。

【図6】従来の電界センサの構成を示す図である。

【図7】図7 (a) ~ (c) は、従来の電界センサのEO結晶10が自然複屈折率を有さない場合の波形図であり、図7 (d) ~ (f) は、従来の電界センサのEO結晶10が自然複屈折率を有する場合の波形図である。

【符号の説明】

【0058】

10 EO結晶

11, 12 電極

L S 光源

D A 差動アンプ

HWP 1/2 波長板

P D 1, P D 2 光検出器

P B S 偏光ビームスプリッタ

Q W P 1, Q W P 2 1/4 波長板

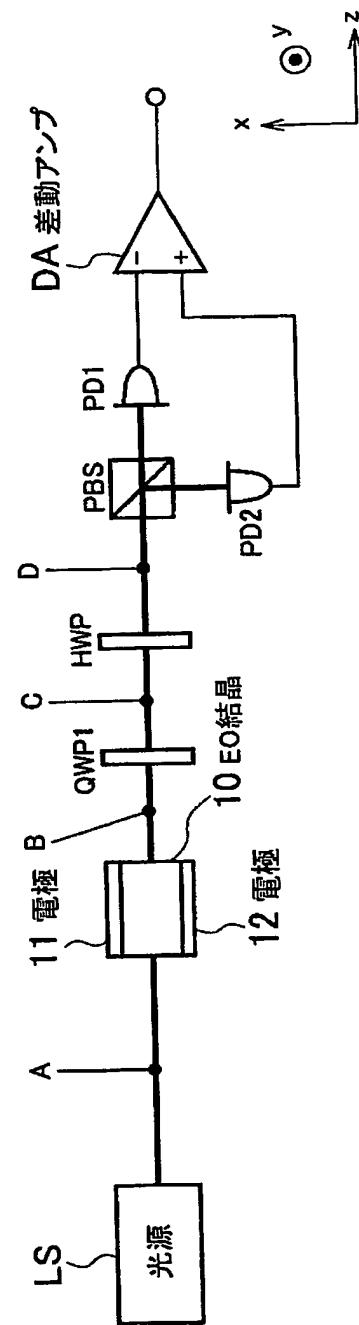
特願 2004-100254

ページ： 1/

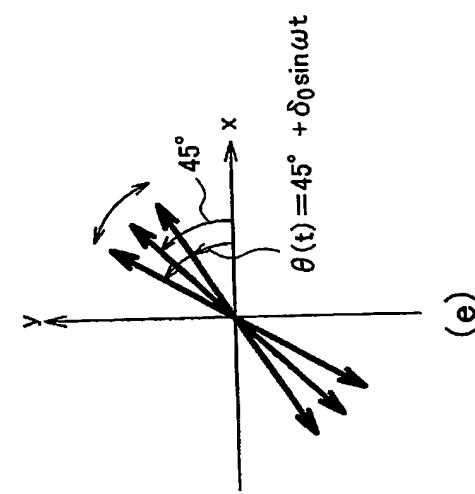
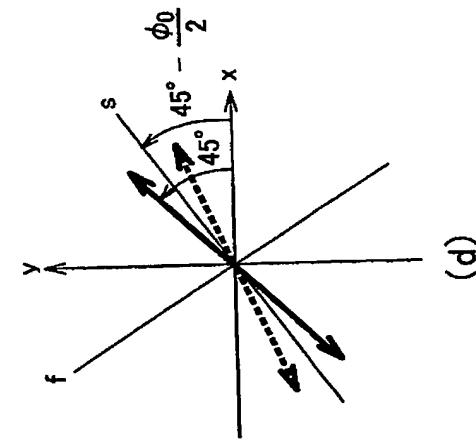
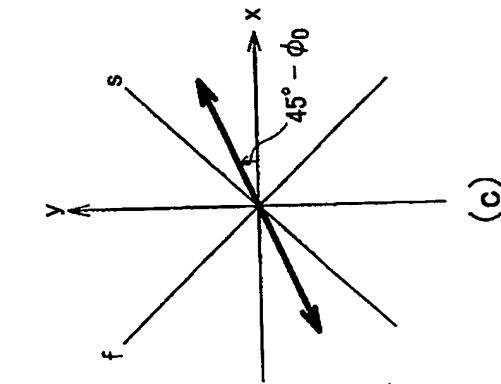
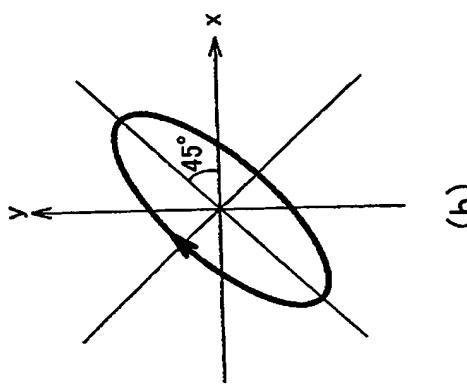
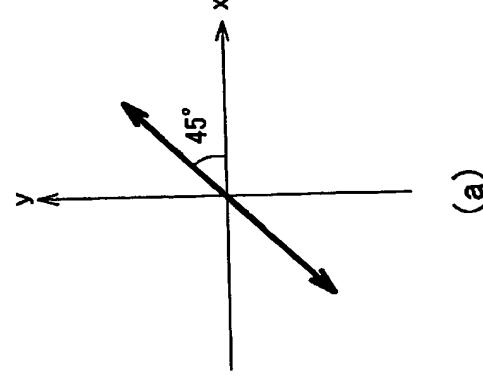
【書類名】 図面

出証特 2004-3084323

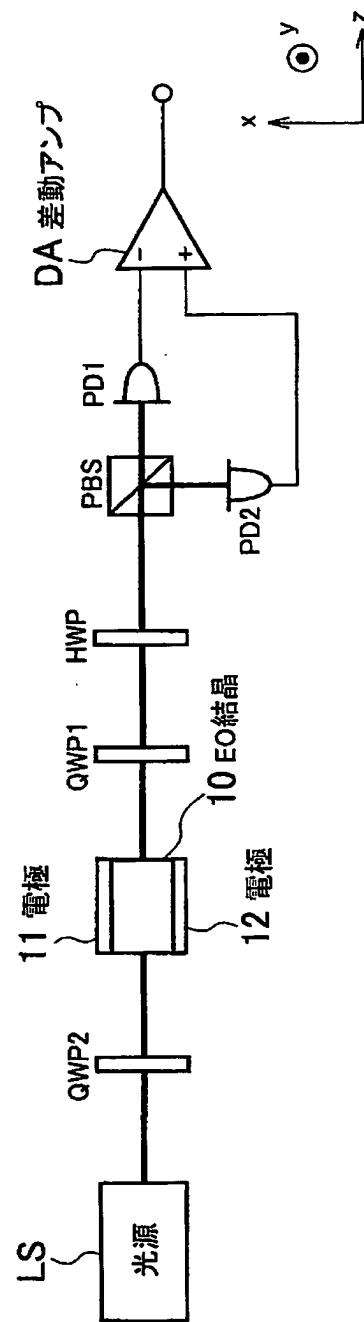
【図1】



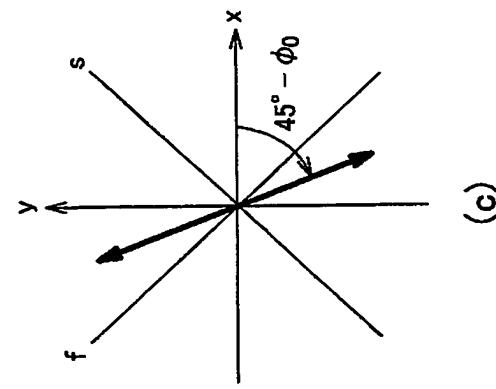
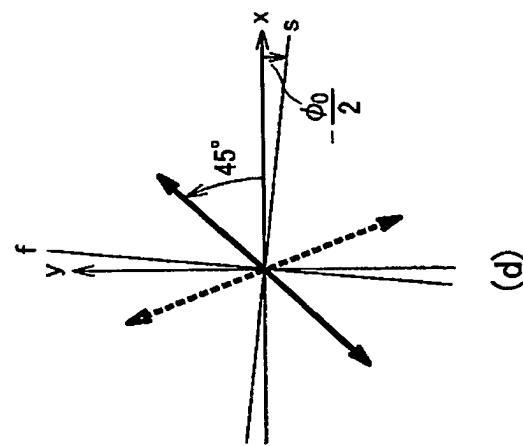
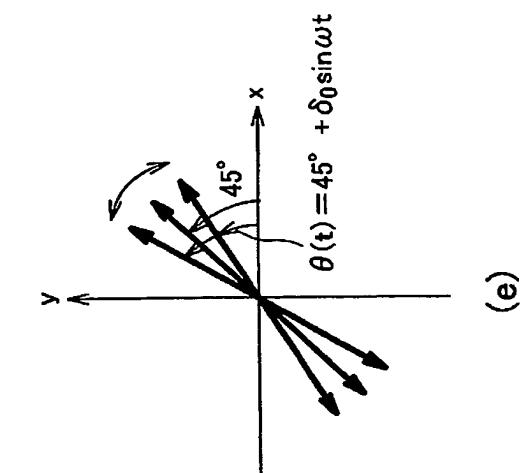
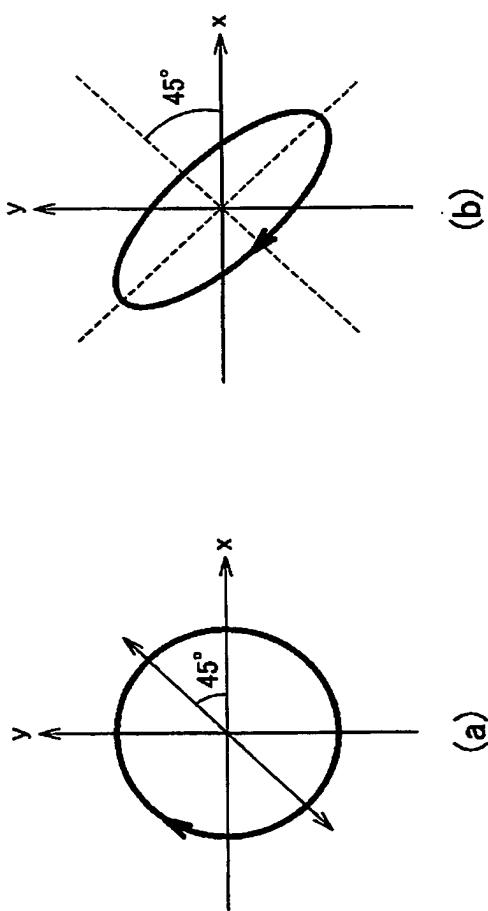
【図2】



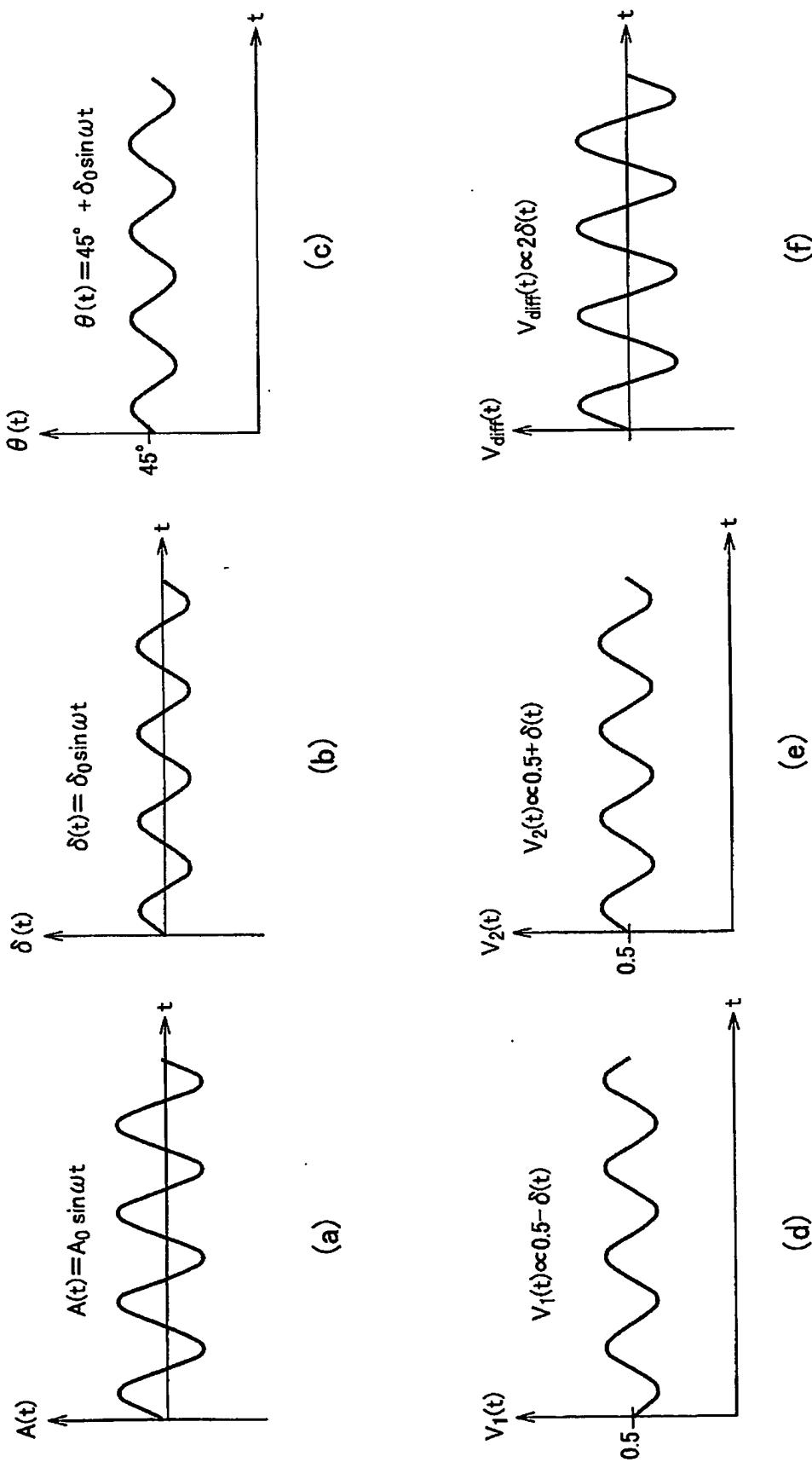
【図3】



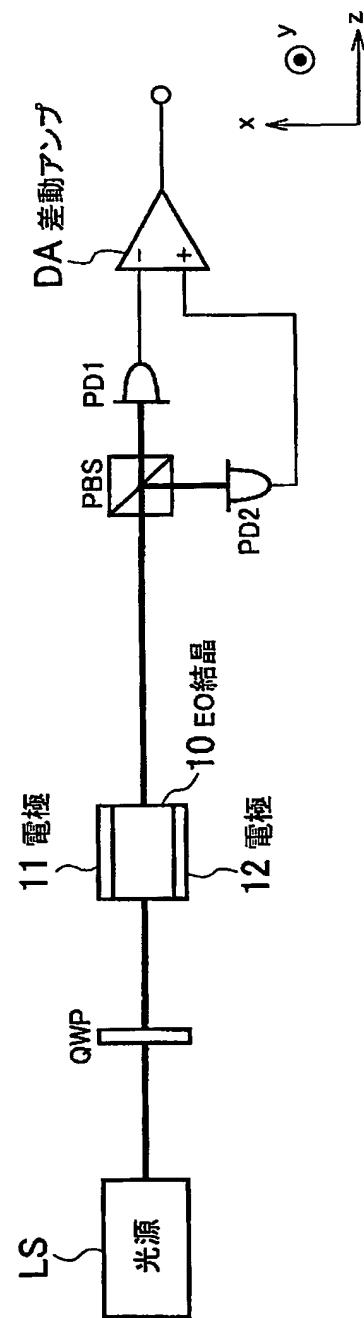
【図4】



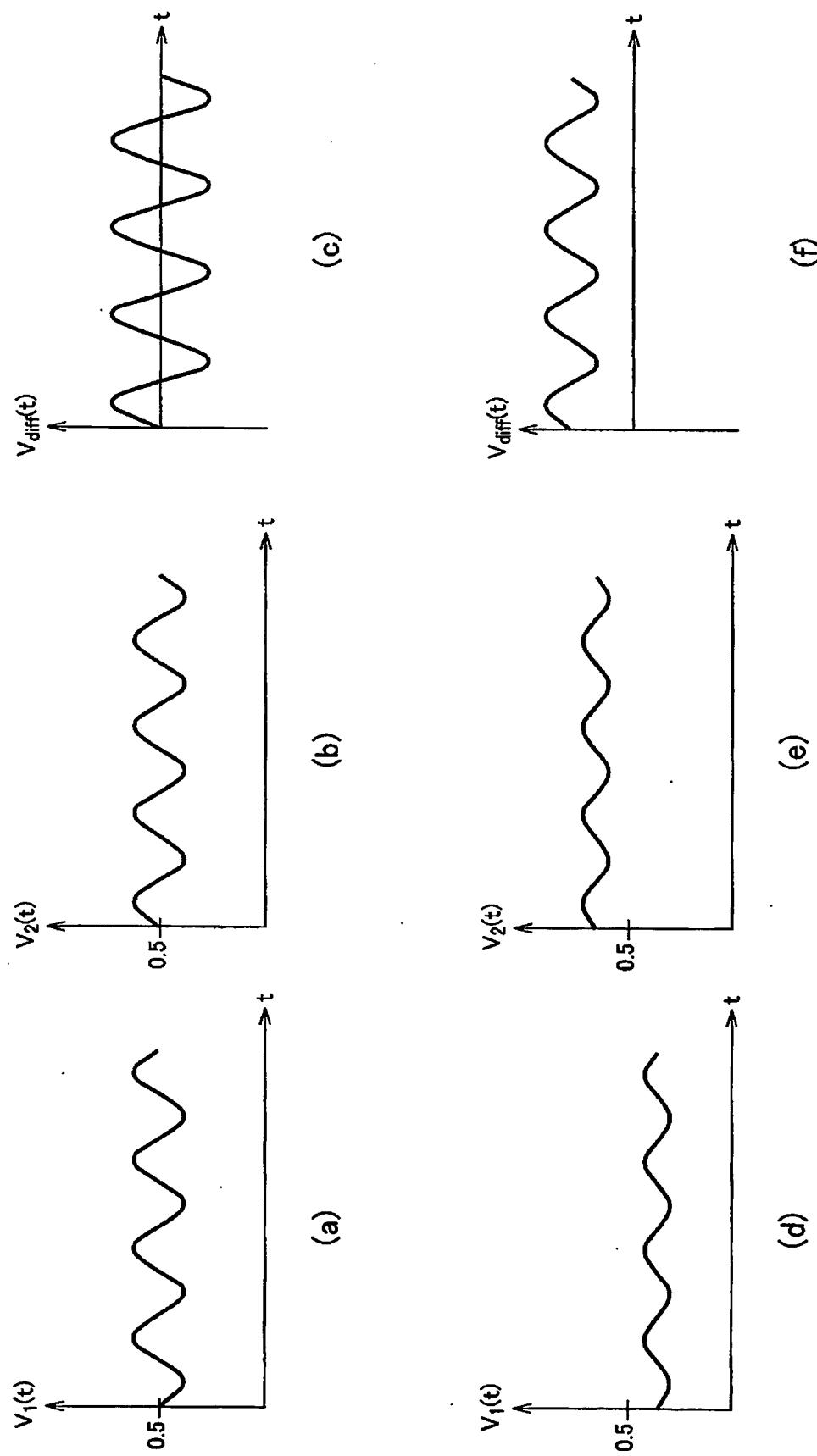
【図5】



【図6】



【図7】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 電気光学結晶の自然複屈折率による感度低下を補償する機能を備えた電界センサを提供する。

【解決手段】 $1/4$ 波長板 QWP 1 からの直線偏光の偏波面と EO 結晶 10 の slow 軸とでなす角度を $45^\circ - \phi_0$ としたときに、 $1/2$ 波長板 HWP の slow 軸と電気光学結晶 10 の slow 軸とでなす角度を $45^\circ - (\phi_0/2)$ にする。

【選択図】図 1

特願 2004-100254

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏 名 日本電信電話株式会社

Rec'd PCT/PTO 14 MAR 2004
T/JP2004/010716

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

09.8.2004

REC'D 30 SEP 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2004年 4月 7日
Date of Application:

出願番号 特願2004-113083
Application Number:

[ST. 10/C]: [JP2004-113083]

出願人 日本電信電話株式会社
Applicant(s):

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1 (4) OR (5)

2004年 9月 17日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小川

洋

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTT157442
【提出日】 平成16年 4月 7日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01R 29/08
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 佐々木 愛一郎
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 品川 満
【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】 100083806
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 秀和
【電話番号】 03-3504-3075
【選任した代理人】
【識別番号】 100068342
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 保男
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 001982
【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701396

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶に設けられた第1の電極と、この第1の電極に電気信号を与えたときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させる光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による偏光変化を検出する検出回路とを備えた電界センサにおいて、

前記電気光学結晶に設けられた第2の電極と、

該第2の電極に接続された補助電極とを備えたことを特徴とする電界センサ。

【請求項 2】

前記補助電極の形状が、棒状、板状、球状のいずれかであることを特徴とする請求項1記載の電界センサ。

【請求項 3】

前記第2の電極と前記補助電極との間の距離を可変にする手段を備えたことを特徴とする請求項1または2記載の電界センサ。

【請求項 4】

前記第2の電極と前記補助電極とが離れたときに動作するように構成されたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の電界センサ。

【書類名】明細書

【発明の名称】電界センサ

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気光学結晶内の電界振幅を高めることによって高い感度が得られる電界センサに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、電気光学 (Electro-optic; EO) 効果を利用して信号検出を行う電界センサが、様々な目的の為に提案されている。例えば、この種の電界センサは、図5に示すよう、人体を伝わる電気信号を検出するものや、図6に示すような、被測定デバイス (Device Under Test: DUT) 中の電気信号を検出するものである。

【0003】

図5に示すように、受信用電極RPは、人体100の被測定点に接触している。信号源Sinから送信用電極SPと人体100を介して、受信用電極RPに電気信号が入力されると、受信用電極RPにリード線で接続された、電界センサ内の信号電極11は、被測定点と同電位になる。

【0004】

また、図6に示すように、金属針MNは、DUT101の被測定点に接触している。信号源SinからDUT101を介して、金属針MNに電気信号が入力されると、金属針MNにリード線LDで接続された、電界センサ内の信号電極11は、被測定点と同電位になる。

【0005】

これ以降の動作は、図5と図6の場合で同一であり、先ず、信号電極11と大地グランド間に電界が発生する。この時の電気力線は、図5や図6に示すように、その一部がEO結晶12中を通過するので、EO結晶12内に電界が発生する。

【0006】

EO結晶12内に電界が発生すると、その電界に応じてEO結晶12において複屈折率の変化が生じる。光源13から直接または偏光素子を介して、複屈折率が変化したEO結晶12に円偏光を入射させると、EO結晶12からは楕円偏光が出力される。楕円偏光は、2つのミラー14a、14bによって反射した後、偏光ビームスプリッタ (Polarizing-beam splitter; PBS) 15に入射し、このPBS15で2つの直線偏光 (SおよびP偏光) に分離される。このSおよびP偏光は2つの光検出器16a、16bによって検出され、それぞれの強度に比例した電気信号が差動増幅器17に入力する。この差動増幅器17の出力電気信号は、EO結晶12内の電界振幅に比例するので、差動増幅器17の出力電気信号を測定することにより、EO結晶12内の電界振幅を検出することが可能となる。また、EO結晶12内の電界振幅は、人体100やDUT101の被測定点の電位に比例しているので、この差動増幅器17の出力電気信号を検出することにより、被測定点の電位を検出することができる。

【特許文献1】特開2000-171488号公報

【特許文献2】特開2003-98205号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、図5や図6に示すように、従来の電界センサにおいては、信号電極11から発生した電気力線のごく一部のみがEO結晶12内を通過するので、EO結晶12内の電界振幅が小さい。したがって、光源13からの光ビームの偏光状態を十分に変調できず、そのため、電界センサとして高い感度が得られない。

【0008】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、電気光出証特2004-3084328

学結晶内の電界振幅を高めることによって高い感度が得られる電界センサを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の課題を解決するために、請求項1の本発明は、電界の結合で複屈折率が変化する電気光学結晶と、該電気光学結晶に電界を結合させるために当該電気光学結晶に設けられた第1の電極と、この第1の電極に電気信号を与えたときの電界の結合によって複屈折率の変化した前記電気光学結晶に光を入射させる光源と、前記電気光学結晶から出射した光の変化した前記電気光学結晶に光を入射させる光源と、前記電気光学結晶から出射した光の前記複屈折率変化による偏光変化を検出する検出回路とを備えた電界センサにおいて、前記電気光学結晶に設けられた第2の電極と、該第2の電極に接続された補助電極とを備えたことを特徴とする電界センサをもって解決手段とする。

【0010】

請求項2の本発明は、前記補助電極の形状が、棒状、板状、球状のいずれかであることを特徴とする請求項1記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0011】

請求項3の本発明は、前記第2の電極と前記補助電極との間の距離を可変にする手段を備えたことを特徴とする請求項1または2記載の電界センサをもって解決手段とする。

【0012】

請求項4の本発明は、前記第2の電極と前記補助電極とが離れたときに動作するように構成されたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の電界センサをもって解決手段とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明の電界センサによれば、電気光学結晶に設けた第2の電極と、該第2の電極に接続され且つ形状が定められた補助電極とを備えたことで、電気光学結晶内の電界振幅が高まり、よって電界センサの感度を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0015】

図1は、本発明の電界センサを人体の電気信号検出に用いた構成例を示す図であり、図2は、本発明の電界センサをDUTの電圧測定に用いた構成例を示す図である。本実施の形態の電界センサの構成要素のうち、図5や図6に示した電界センサの構成要素と同一のものには同一符号を付与することで要素説明を省略する。また、本実施の形態の電界センサは、EO結晶12内の電界を検出するときに、図5や図6を参照して説明したように動作するので動作説明を省略する。

【0016】

図1や図2の電界センサでは、EO結晶12の第1の電極である信号電極11を設けた面の対向面に第2の電極である対向電極18が設けられている。さらに、電界センサの感度を高めるための補助電極19がリード線LDで対向電極18に接続されている。

【0017】

なお、第2の電極は、信号電極11を設けた面と同一の面に設けても良いし（導波路構造を有するEO変調素子でいうスロット電極構造）、その隣の面に設けてもよい。

【0018】

補助電極19は、電界センサ内の全ての部品および電界センサの筐体から絶縁されている。また、対向電極18と補助電極19の間は、信号電極11と対向電極18の間よりも離れているが、この理由については後述する。

【0019】

図1や図2の電界センサでは、信号電極11と対向電極18でコンデンサC1が形成され、さらに補助電極19と大地グランドでコンデンサC2が形成されるので、電気力線は

、それぞれのコンデンサの電極間に集中することとなり、EO結晶12内の電界振幅を大きくすることができ、これにより、電界センサの感度を高めることができる。

【0020】

また、信号電極11と大地グランド間の電位差を ϕ 、コンデンサC1の静電容量をC1、コンデンサC2の静電容量をC2、コンデンサC1の電極間電位差を ϕ_1 、コンデンサC2の電極間電位差を ϕ_2 とすると次の2式が成り立つ。

【0021】

$$\phi_1 = \phi \cdot C_2 / (C_1 + C_2)$$

$$\phi_2 = \phi \cdot C_1 / (C_1 + C_2)$$

したがって、EO結晶12内の電界振幅は、コンデンサC1の電極間電位差 ϕ_1 に比例するので、EO結晶12内の電界振幅を大きくするには、静電容量 $C_2 > C_1$ （好ましくは $C_2 >> C_1$ ）となるように設計すればよい。

【0022】

なお、EO結晶12は、通常は、ごく小さいものなので、対向電極18と補助電極19を設けるだけでも感度が向上するが、静電容量C2をさらに大きくしてさらに感度を上げるには、例えば、補助電極19の表面積を大きくすればよい。また、補助電極19の形状を、例えば、棒状（紐状を含む）、平板状、球状（半球状を含む）などとすれば、製造上の支障なく、その表面積を大きくすることができる。

【0023】

また、静電容量C2を大きくするには、図3に示すように、補助電極19を、信号電極11や対向電極18の近くに設けるよりは、図4に示すように、信号電極11や対向電極18から遠ざけ、好ましくは、補助電極19を大地グランドに近づければよい。なお、補助電極19が電界センサから離れると、電界センサが取り扱いにくいので、例えば、当該電極同士を伸縮可能な部材で接続して、対向電極18と補助電極19との間の距離を可変にするのが好ましい。さらには、対向電極18を筐体に収納できるようにしてもよい。

【0024】

また、補助電極19が、信号電極11や対向電極18の近くにあるときには、電界を検出する感度が低くなるので、対向電極18と補助電極19とが離れたときに限って動作するように、例えば、補助電極19が対向電極18の近くにあるときには、光源13や光検出器16a、16bおよび差動增幅器17への電力供給を遮断し、対向電極18と補助電極19とが所定の距離以上離れたときには電力供給がなされるようなスイッチ機構を設けることが好ましい。

【0025】

具体的には、例えば、補助電極19をレールに沿って移動可能のように構成するとともにそのレール上にスイッチを設け、補助電極19が対向電極18から離れる方向に移動してスイッチ上を通過したときにスイッチをオンにして電力供給を行い、一方、補助電極19が対向電極18に近づく方向に移動してスイッチ上を通過したときにスイッチをオフにして電力供給を遮断するような機構を設けることができる。また、補助電極19を対向電極18から所定の距離以上離れた位置Aと対向電極18のごく近くの位置Bのいずれかに固定可能とするとともに、位置Aにスイッチを設け、位置Aに補助電極19が固定されたときにスイッチをオンにして電力供給を行い、一方、補助電極19が位置Bに固定されたときには位置Aのスイッチをオフにして電力供給を遮断するような機構を設けることができる。

【0026】

このような機構を設けることにより、常に高い感度で検出することが可能な電界センサを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の電界センサを人体の電気信号検出に用いた構成例を示す図である。

【図2】本発明の電界センサをDUTの電圧測定に用いた構成例を示す図である。

【図3】補助電極19を、信号電極11や対向電極18の近くに設けた状態を示す図である。

【図4】補助電極19を、信号電極11や対向電極18から遠ざけた状態を示す図である。

【図5】従来の電界センサを人体の電気信号検出に用いた構成例を示す図である。

【図6】従来の電界センサをDUTの電圧測定に用いた構成例を示す図である。

【符号の説明】

【0028】

1 1 信号電極

1 2 電気光学結晶（E O結晶）

1 3 光源

1 4 a、1 4 b ミラー

1 5 P B S

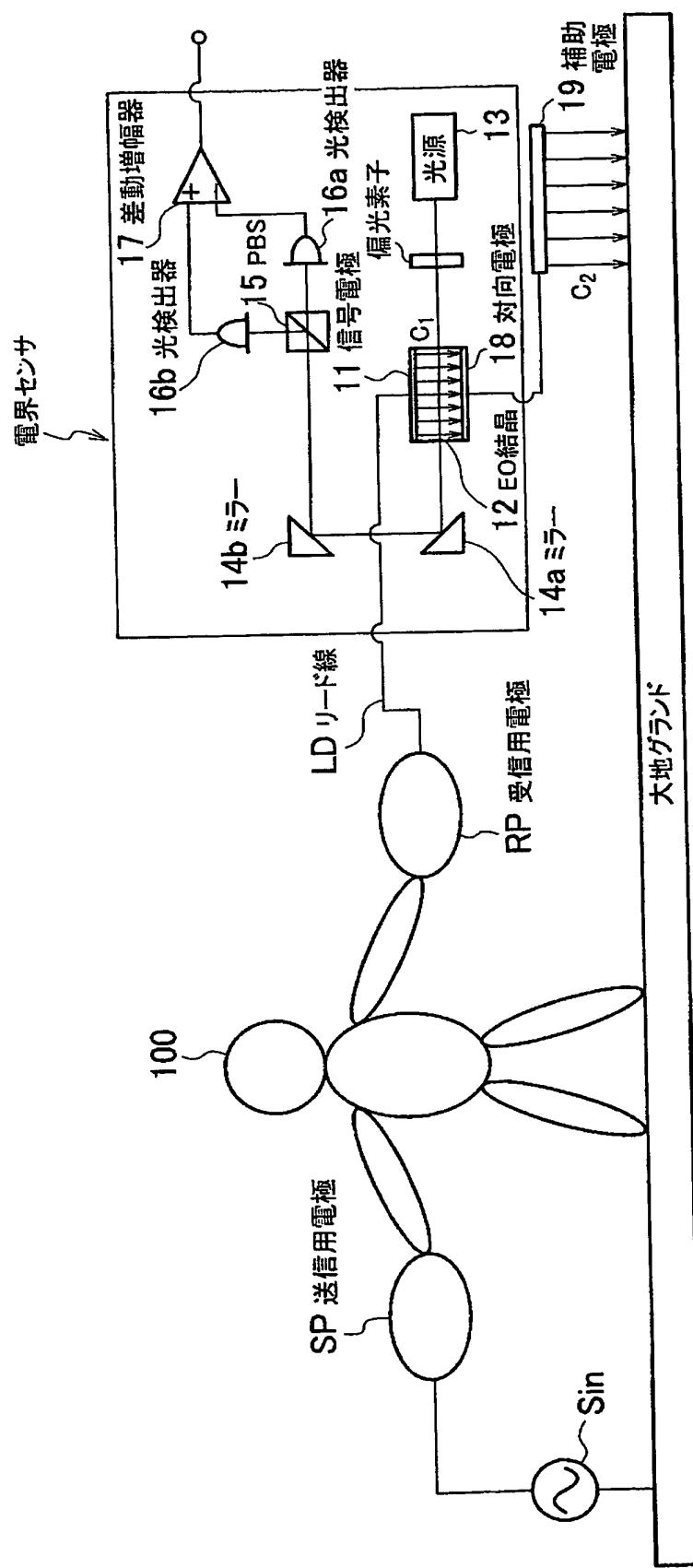
1 6 a、1 6 b 光検出器

1 7 差動増幅器

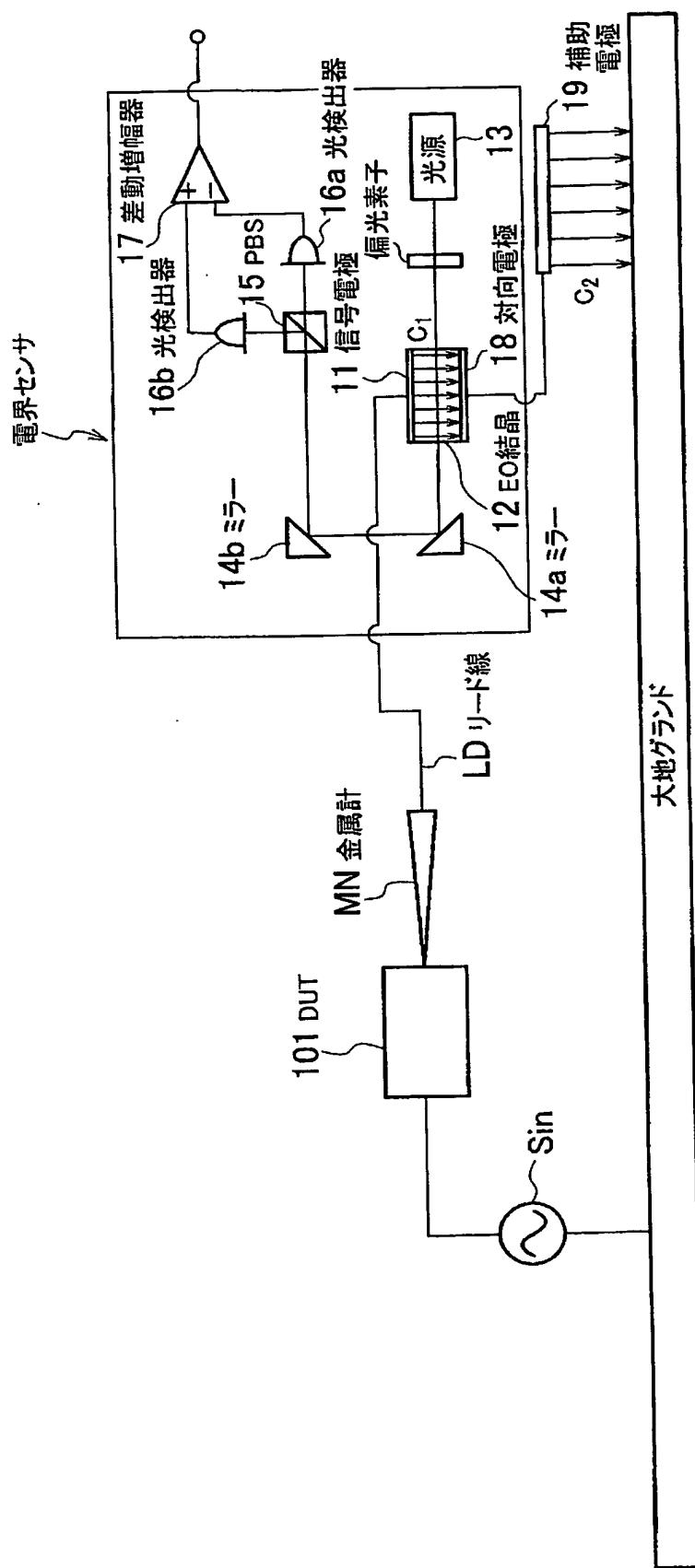
1 8 対向電極

1 9 補助電極

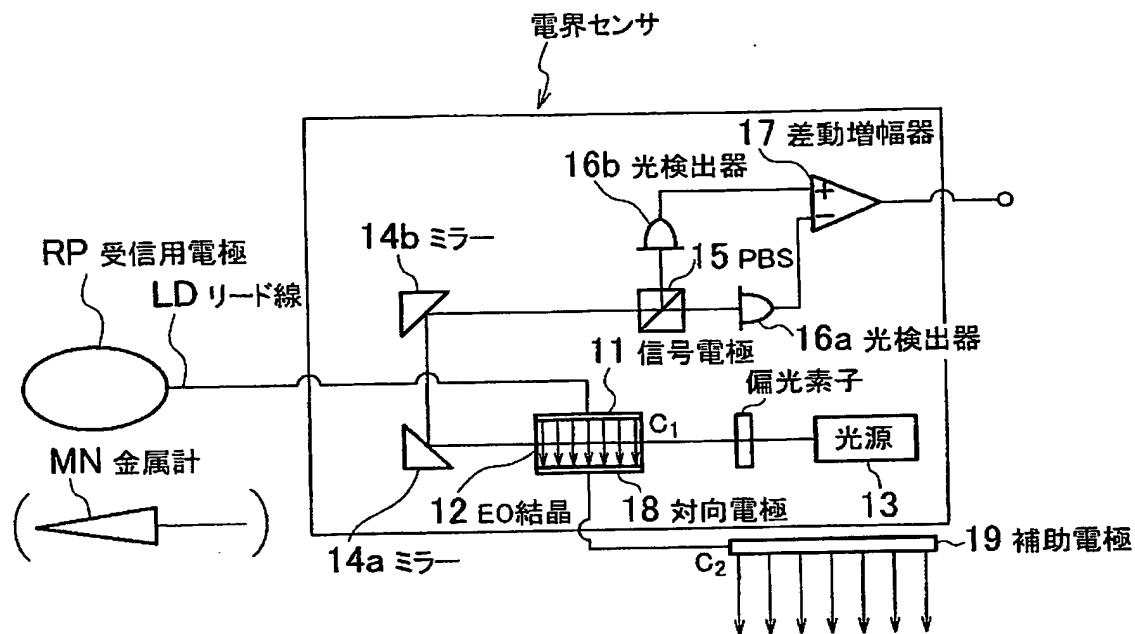
【書類名】図面
【図1】



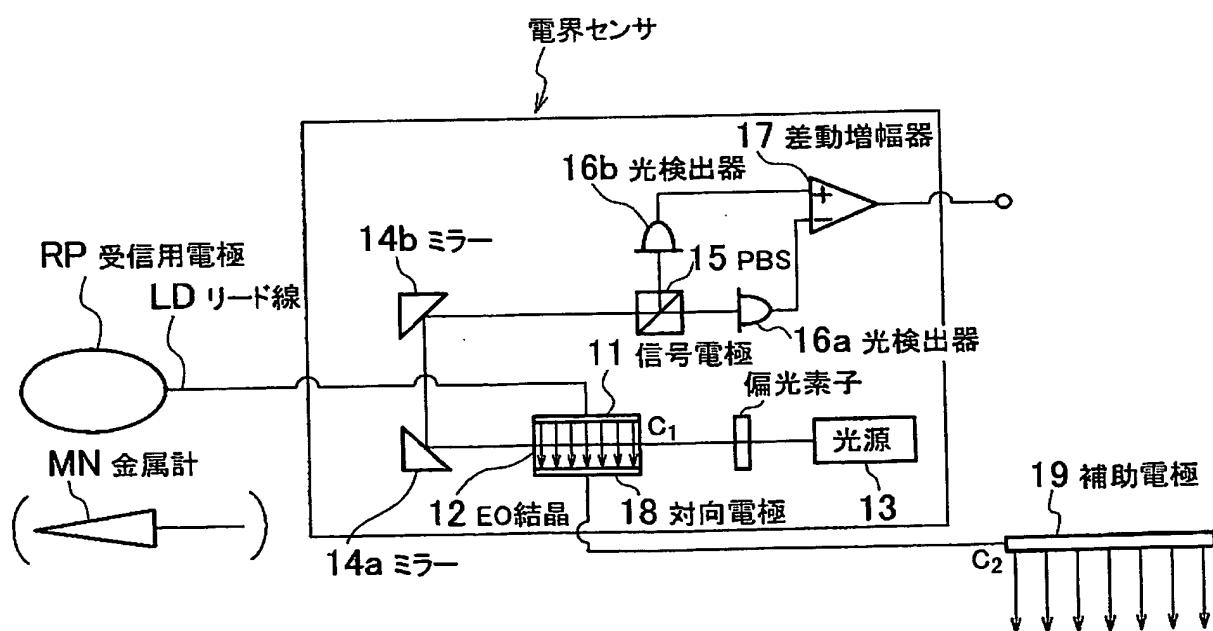
【図2】



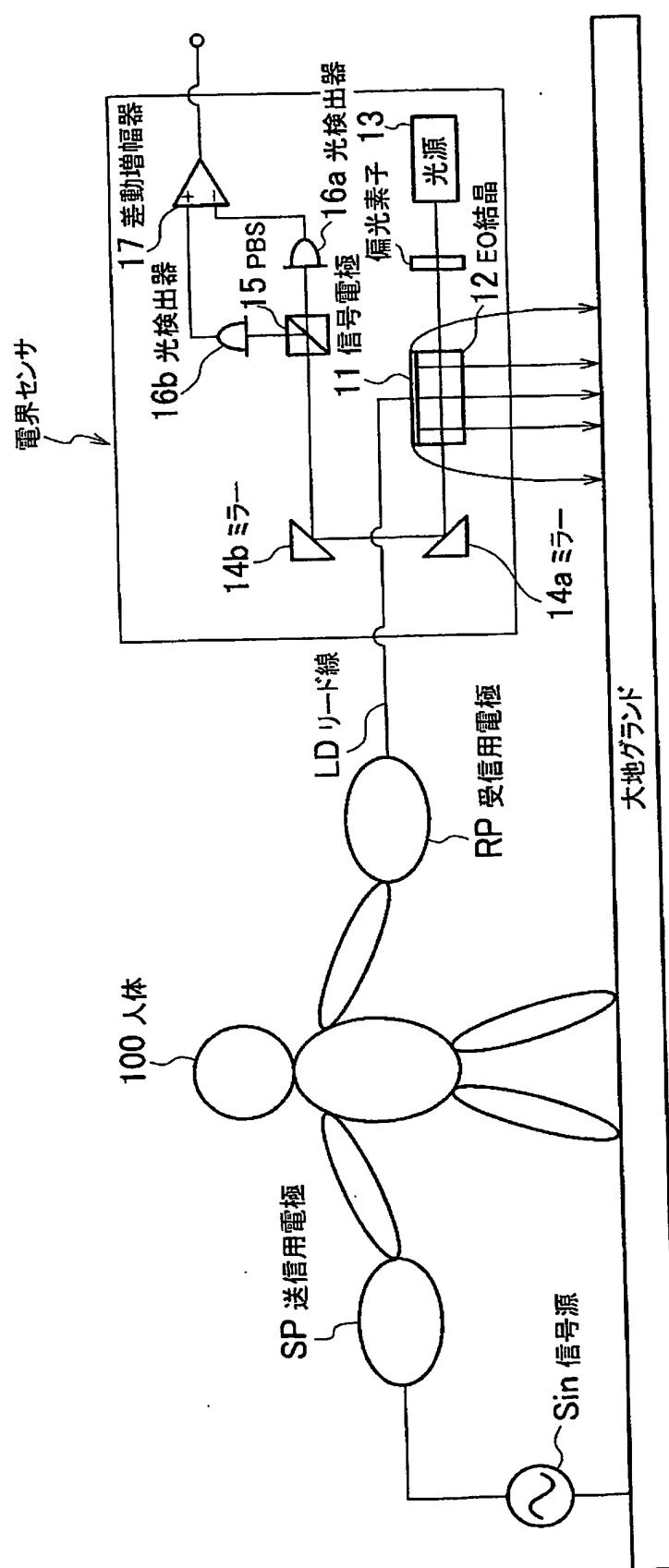
【図3】



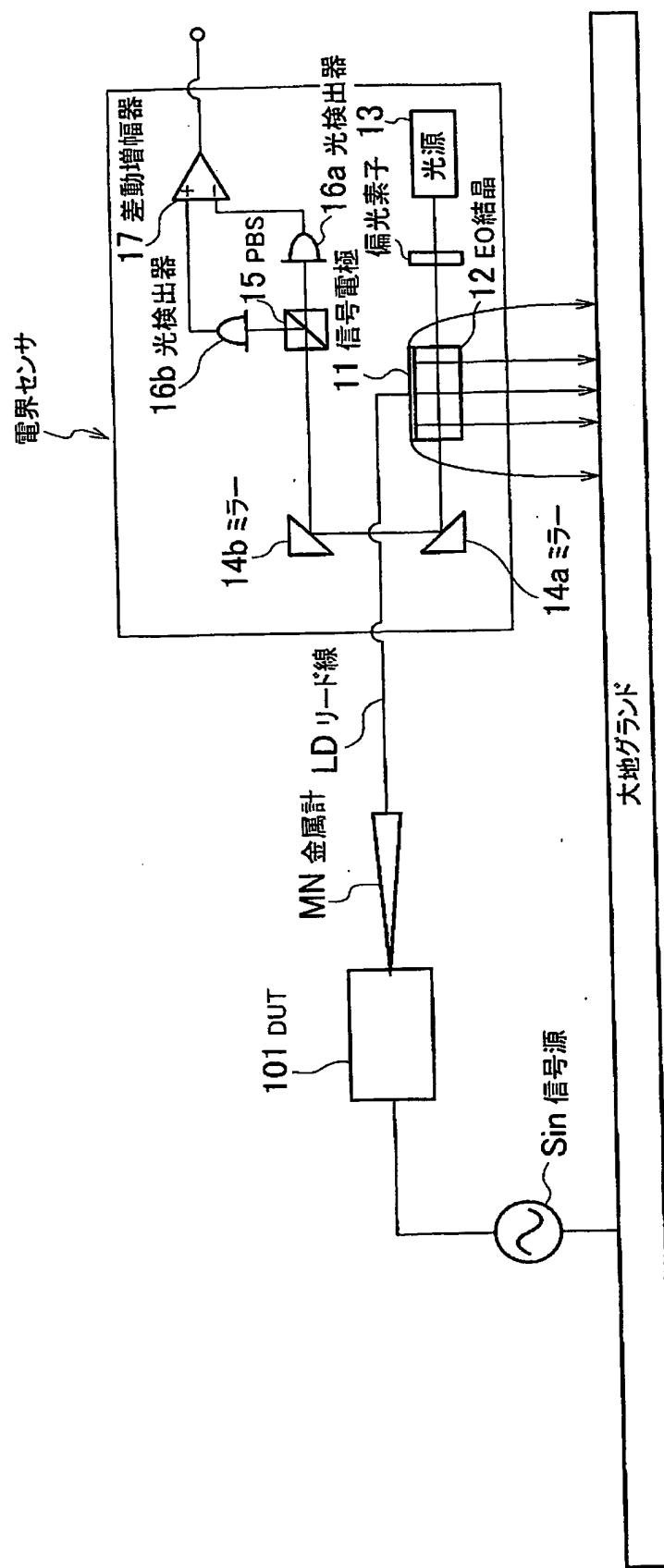
【図4】



【図5】



【図6】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 電気光学結晶内の電界振幅を高めることによって高い感度が得られる電界センサを提供する。

【解決手段】 電気光学結晶12の信号電極11を設けた面の対向面に対向電極18を設け、例えは、棒状、平板状、球状に構成された補助電極19を対向電極8にリード線で接続する。

【選択図】図1

特願 2004-113083

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社